

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2002 年 8 月 29 日 (29.08.2002)

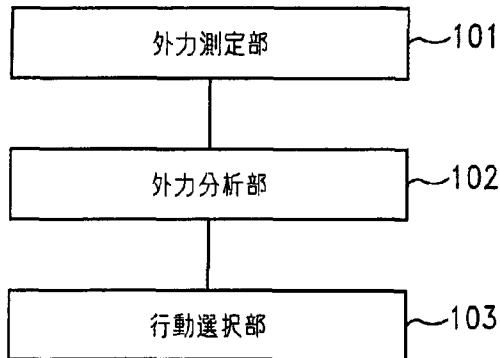
PCT

(10) 国際公開番号
WO 02/065825 A2

- (51) 国際特許分類: 分類無し
- (21) 国際出願番号: PCT/IB02/00544
- (22) 国際出願日: 2002 年 2 月 21 日 (21.02.2002)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2001-45693 2001 年 2 月 21 日 (21.02.2001) JP
特願2001-55669 2001 年 2 月 28 日 (28.02.2001) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): ソニー株式会社 (SONY CORPORATION) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 横野 順 (YOKONO, Jun) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 小池 晃, 外 (KOIKE, Akira et al.); 〒105-0001 東京都港区虎ノ門二丁目 6 番 4 号 第 1 1 森ビル Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (国内): CN, KR, US.
- (84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告書なし; 報告書を受け取り次第公開される。
- 2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: ROBOT DEVICE AND METHOD OF CONTROLLING ROBOT DEVICE OPERATION

(54) 発明の名称: ロボット装置及びロボット装置の動作制御方法



101...EXTERNAL FORCE MEASURING UNIT
102...EXTERNAL FORCE ANALYZING UNIT
103...BEHAVIOR SECTING UNIT

(57) Abstract: A robot device comprising parts of the body such as the head (4) and legs (3A-3D), an actuator (25) for driving parts of the body, and the CPU (10) for outputting control signals to the actuator (25). The device calculates external force-related information such as the position, magnitude, and direction of an external force applied to the robot device based on changes in control signals that are output from the CPU (10) to drive the actuator (25) and in signals that are input to the CPU (10) as responses when the actuator (25) is driven. This external force information is used as information for selecting, in collaboration with the behavior and emotion of the robot device, the next behavior of the robot device. Since the robot device calculates external force information based on outputs from the CPU (10) and outputs from the actuator (25) and a potentiometer (26), an external forced can be detected depending

on existing apparatuses without the need of adding a dedicated sensor.

[続葉有]



(57) 要約:

頭部（４）や脚部（３Ａ～３Ｄ）などの体の部位と、体の部位を駆動させるアクチュエータ（２５）と、アクチュエータ（２５）に制御信号を出力するＣＰＵ（１０）とを有するロボット装置であり、この装置は、アクチュエータ（２５）を駆動するためにＣＰＵ（１０）から出力される制御信号とアクチュエータ（２５）を駆動したときの応答としてＣＰＵ（１０）に入力される信号との変化に基づいて、ロボット装置に加えられた外力の位置、大きさ、方向など外力に関する情報を算出する。この外力の情報はＣＰＵ（１０）に入力され、ロボット装置の行動、感情とともにロボット装置の次の行動を選択する情報として使用される。このように、このロボット装置では、ＣＰＵ（１０）の出力とアクチュエータ（２５）やポテンシオメータ（２６）の出力に基づいて外力の情報を算出するため、既存の機器を用いて外力の検出ができ、専用のセンサを追加する必要がない。

明細書

ロボット装置及びロボット装置の動作制御方法

技術分野

本発明は、ロボット装置、ロボット装置の動作制御方法、外力検出装置、外力検出方法ロボット装置の動作を制御するためのプログラム、及びそのプログラムが記録された記録媒体に関し、詳しくは、周囲の状況や外部からの働きかけに応じて自律的に行動を決定して発現するロボット装置、このようなロボット装置の動作制御方法、この動作制御のためのプログラム、及びこのプログラムが記録された記録媒体に関する。

背景技術

近年、ユーザからの指令や周囲の環境等に応じて行動を行う４脚歩行型のロボット装置が本願特許出願人によって開発され、販売されている。かかるロボット装置は、ＣＣＤ（Charge Coupled Device）カメラやマイクロホンを搭載しており、このＣＣＤカメラによって撮像した周囲の状況や、マイクロホンにより集音したユーザからの指令音及び周囲音等に基づいて周囲の状況やユーザからの指令の有無を判断し、この判断結果に基づいて自律的に行動を決定してこれを発現するようにされている。

ところで、かかるロボット装置は、通常、ドアの敷居やコード等の障害物が多く存在する一般家庭において用いられることから、このような環境下においても歩行の際に安易に転倒しないような何らかの工夫が必要になる。そこで、例えば、ＣＣＤカメラから出力される画像信号に基づいて障害物を検出し、この検出結果に基づいて障害物を避けて行動するようにロボット装置が自己の行動を制御する方法が用いられている。障害物検出の他の方法としては、例え

ばロボット装置の各脚に力センサを特別に設置し、その出力に基づいて障害物に衝突したことを検出する方法も考えられている。

ところが、カメラからの画像信号を用いる方法では、障害物を検出するのに時間がかかり、さらにその割に障害物の認識率が悪いのが実情である。また、各脚に力センサを配置する方法によると、この分だけ部品点数が増加するため、構成が煩雑化したり製造コストの上昇や重量の増加が避けられない。

また、このようなロボット装置は、所定の位置に複数のセンサを備えることによって、障害物を検出するだけでなく、押圧されたセンサに対応した処理、例えば、所定の動作（お座り等）を発現することもできるようになっている。したがって、より多くのセンサを備えることにより、ユーザは、ロボット装置との高度なインタラクションを楽しむことができる。

ところが、このような接触検出専用のセンサをロボット装置の所定位置に配置すると、接触が検出される位置が必然的に限定されるため、ユーザとのインタラクションが制限されてしまう。例えば、力が加えられた方向を検出するような高度なセンサを用いれば、やはりロボット装置の構成が煩雑化し、製造コストの上昇や重量の増加に繋がる。また、ロボット装置の部位によっては、センサが設置できない場合もある。

発明の開示

本発明の目的は、従来のロボット装置が有する問題点を解決し、簡易な構成で障害物との衝突を確実に検出するとともに、専用のセンサを用いることなく外力を検出し、その外力の方向等の外力に関する情報も検出できる外力検出装置及び方法、並びにこの外力検出装置を適用したロボット装置、及びこのロボット装置の動作制御方法、さらには、ロボット装置の動作制御プログラム及びプログラム記録媒体を提供することにある。

本発明にかかるロボット装置は、制御信号によって動作制御される動作部と、所定の動作を実行させるために上記制御信号を出力する制御手段と、上記動作部に外力が加えられたときの上記制御信号の変化に基づいて、外力を検出する

外力検出手段とを備える。

また、本発明にかかるロボット装置の制御方法は、制御信号によってロボット装置の動作部の動作制御をする制御工程と、外力が加えられたときの上記制御信号の変化に基づいて、上記ロボット装置への外力を検出する外力検出工程とを有する。

また、本発明にかかる外力検出装置は、ロボット装置の各部を駆動する動作手段と、上記動作手段の動作量の指示値を当該動作手段に与える制御手段と、上記動作手段の動作量の実際値を検出する動作量検出手段と、上記制御手段が上記動作手段に与えた上記指示値及び上記動作量検出手段により検出された上記動作手段の駆動量の実際値に基づいて外力の有無を判断する外力検出手段とを備える。

また、本発明にかかる外力検出方法は、ロボット装置の各部を駆動する動作手段に対し、上記動作時における当該駆動手段の駆動量の指示値を与える工程と、上記動作時における上記動作手段の駆動量の実際値を検出する工程と、上記指示値及び上記実際値に基づいて外力の有無を判断する工程とを備える。

また、本発明にかかるプログラムは、制御信号によってロボット装置の動作部の動作制御をする制御工程と、外力が加えられたときの上記制御信号の変化に基づいて、上記ロボット装置への外力を検出する外力検出工程とをロボット装置に実行させる。

また、本発明にかかる記録媒体は、制御信号によってロボット装置の動作部の動作制御をする制御工程と、外力が加えられたときの上記制御信号の変化に基づいて、上記ロボット装置への外力を検出する外力検出工程とをロボット装置に実行させるプログラムが記録されている。

図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の基本構成を機能的に示すブロック図である。

図 2 は、図 1 の基本構成が実行する処理を示す図である。

図 3 は、図 2 のステップ S 3 を実行するために記述したプログラムである。

図 4 は、ロボット装置の外観構成を示す斜視図である。

図 5 は、ペットロボットの回路構成を示すブロック図である。

図 6 は、信号処理回路の構成を示すブロック図である。

図 7 は、制御プログラムのソフトウェア構成を概念的に示すブロック図である。

図 8 は、ミドル・ウェア・レイアのソフトウェア構成を概念的に示すブロック図である。

図 9 は、アプリケーション・レイアのソフトウェア構成を概念的に示すブロック図である。

図 10 は、行動モデルライブラリの構成を示す概念図である。

図 11 は、確率オートマトンを示す概念図である。

図 12 は、状態遷移表を示す概念図である。

図 13 は、ロボット装置における外力を検出するための主要構成を示すブロック図である。

図 14 は、PWMパルスと実測トルクとの関係を示す特性図である。

図 15 は、PWMパルスと実測トルクとの関係を示す特性図である。

図 16 は、PWMパルスと実測トルクとの関係を示す特性図である。

図 17 は、PWMパルスと実測トルクとの関係を示す特性図である。

図 18 は、力センサシステムの構成を示す図である。

図 19 は、力センサシステムの説明に使用したキャリブレーションの特性図である。

図 20 は、モデル化したロボット装置を示す図である。

図 21 は、ジョイント 1 における、実測のトルクと変換により得たトルクとの関係を示す特性図である。

図 22 は、ジョイント 1 における、実測のトルクと変換により得たトルクとの関係を示す特性図である。

図 23 は、ジョイント 2 における、実測のトルクと変換により得たトルクとの関係を示す特性図である。

図 24 は、ジョイント 2 における、実測のトルクと変換により得たトルクと

の関係を示す特性図である。

図 2 5 は、ジョイント 3 における、実測のトルクと変換により得たトルクとの関係を示す特性図である。

図 2 6 は、ジョイント 3 における、実測のトルクと変換により得たトルクとの関係を示す特性図である。

図 2 7 は、種々の方向から力が加えられた際の結果を示す特性図である。

図 2 8 は、種々の方向から力が加えられた際の結果を示す特性図である。

図 2 9 は、種々の方向から力が加えられた際の結果を示す特性図である。

図 3 0 は、体に対して一回りに力が加えられた際の結果を示す特性図である。

図 3 1 は、ピッチ方向用アクチュエータに対する指示値と実際値の関係を示す波形図である。

図 3 2 は、各種波形を示す波形図である。

図 3 3 は、安定余裕の説明に供する概念図である。

図 3 4 は、安定余裕の説明に供する波形図である。

図 3 5 は、第 1 ～第 3 の障害物検出方法による障害物検出の説明に供する波形図である。

図 3 6 は、第 1 ～第 3 の障害物検出方法による障害物検出の説明に供する波形図である。

図 3 7 は、第 1 ～第 3 の障害物検出方法による障害物検出の説明に供する波形図である。

図 3 8 は、安定余裕の計算方法の説明に供する概念図である。

図 3 9 は、障害物検出処理手順を示すフローチャートである。

発明を実施するための最良の形態

本発明の具体例として示すロボット装置は、周囲の環境（外的要因）や内部の状態（内的要因）に応じて自律的に行動をする自律型のロボット装置である。外的要因には、例えば、ユーザ等によって付与された力や障害物との接触などによって生じる外力があり、ロボット装置は外力を検出できるように構成され

ている。

ロボット装置は、外的要因や内的要因に基づいて自律的に行動するための基本的な構成の他に、図 1、2 に示すように、外力測定部 101、外力分析部 102、行動選択部 103 を有する。そして、外力測定部 101 は、ロボット装置に加わる外力の位置、方向、大きさなどの測定し（ステップ S1）、外力分析部 102 は外力測定部 101 からの入力に従い外力の種類を分類し（ステップ S2）、行動選択部 103 は外力分析部 102 の分析結果に応じてロボット装置の姿勢遷移を行う（ステップ S3）。

ステップ S3 における行動選択は、例えば、図 3 に示すプログラムに従って実現される。図 3 のプログラムは、ロボット装置に加わる外力の種類とロボット装置の挙動に基づいて次の行動が選択できるように記述され、ForceKind 変数、BehaviorStatus 変数、ForceDirection 変数は、それぞれ外力の加わる位置、ロボット装置の挙動、力の加わる方向を示し、行動選択部 103 は、これら外力の情報をもとに行動の選択を行う。

本発明の具体例は、付与された外力をもとに行動を選択する自律型ロボット装置における外力検出方法について説明する。

（1）ロボット装置の具体的な構成

図 4 に示すように、ロボット装置 1 は、「犬」等の動物に模した形状のいわゆるペット型ロボットとされ、胴体部ユニット 2 の前後左右にそれぞれ脚部ユニット 3A, 3B, 3C, 3D が連結されると共に、胴体部ユニット 2 の前端部及び後端部にそれぞれ頭部ユニット 4 及び尻尾部ユニット 5 が連結されて構成されている。

胴体部ユニット 2 には、図 5 に示すように、CPU（Central Processing Unit）10、DRAM（Dynamic Random Access Memory）11、フラッシュ ROM（Read Only Memory）12、PC（Personal Computer）カードインターフェース回路 13 及び信号処理回路 14 が内部バス 15 を介して相互に接続されることにより形成されたコントロール部 16 と、このロボット装置 1 の動力源としてのバッテリー 17 とが収納されている。また、胴体部ユニット 2 には、ロボット装置 1 の向きや動きの加速度を検出するための角速度セン

サ 1 8 及び加速度センサ 1 9 などにも収納されている。

また、頭部ユニット 4 には、外部の状況を撮像するための C C D (Charge Coupled Device) カメラ 2 0 と、使用者からの「撫でる」や「叩く」といった物理的な働きかけにより受けた圧力を検出するための接触検出 2 1 と、前方に位置する物体までの距離を測定するための距離センサ 2 2 と、外部音を集音するためのマイクロホン 2 3 と、鳴き声等の音声を出力するためのスピーカ 2 4 と、ロボット装置 1 の「目」に相当する L E D (Light Emitting Diode) (図示せず) となどがそれぞれ所定位置に配置されている。

さらに、各脚部ユニット 3 A ~ 3 D の関節部分や各脚部ユニット 3 A ~ 3 D 及び胴体部ユニット 2 の各連結部分、頭部ユニット 4 及び胴体部ユニット 2 の連結部分、並びに尻尾部ユニット 5 の尻尾 5 A の連結部分などにはそれぞれ自由度数分のアクチュエータ $25_1 \sim 25_n$ 及びポテンシオメータ $26_1 \sim 26_n$ が配設されている。例えば、アクチュエータ $25_1 \sim 25_n$ はサーボモータを構成として有している。サーボモータの駆動により、脚部ユニット 3 A ~ 3 D が制御されて、目標の姿勢或いは動作に遷移する。

そして、これら角速度センサ 1 8、加速度センサ 1 9、接触検出 2 1、距離センサ 2 2、マイクロホン 2 3、スピーカ 2 4 及び各ポテンシオメータ $26_1 \sim 26_n$ などの各種センサ並びに L E D 及び各アクチュエータ $25_1 \sim 25_n$ は、それぞれ対応するハブ $27_1 \sim 27_n$ を介してコントロール部 1 6 の信号処理回路 1 4 と接続され、C C D カメラ 2 0 及びバッテリー 1 7 は、それぞれ信号処理回路 1 4 と直接接続されている。

信号処理回路 1 4 は、上述の各センサから供給されるセンサデータや画像データ及び音声データを順次取り込み、内部バス 1 5 を介して D R A M 1 1 内の所定位置に順次格納する。また信号処理回路 1 4 は、これと共にバッテリー 1 7 から供給されるバッテリー残量を表すバッテリー残量データを順次取り込み、これを D R A M 1 1 内の所定位置に格納する。

このようにして D R A M 1 1 に格納された各センサデータ、画像データ、音声データ及びバッテリー残量データは、この後 C P U 1 0 がロボット装置 1 の動作制御を行う際に利用される。

實際上CPU 10は、ロボット装置1の電源が投入された初期時、胴体部ユニット2の図示しないPCカードスロットに装填されたメモリカード28又はフラッシュROM 12に格納された制御プログラムをPCカードインターフェース回路13を介して又は直接読み出し、これをDRAM 11に格納する。

また、CPU 10は、この後上述のように信号処理回路14よりDRAM 11に順次格納される各センサデータ、画像データ、音声データ及びバッテリー残量データに基づいて自己及び周囲の状況や、使用者からの指示及び働きかけの有無などを判断する。

さらに、CPU 10は、この判断結果及びDRAM 11に格納した制御プログラムに基づいて続く行動を決定すると共に、当該決定結果に基づいて必要なアクチュエータ25₁～25_nを駆動させることにより、頭部ユニット4を上・下・左・右に振らせたり、尻尾部ユニット5の尻尾5Aを動かせたり、各脚部ユニット3A～3Dを駆動させて歩行させるなどの行動を行わせる。

また、この際CPU 10は、必要に応じて音声データを生成し、これを信号処理回路14を介して音声信号としてスピーカ24に与えることにより当該音声信号に基づく音声を外部に出力させたり、上述のLEDを点灯、消灯又は点滅させる。

このようにしてこのロボット装置1においては、自己及び周囲の状況や、使用者からの指示及び働きかけに応じて自律的に行動し得るようになされている。

(1-1) 信号処理回路の構成

信号処理回路14の具体構成を図6に示す。この図6からも明らかなように、信号処理回路14は、DMA (Direct Memory Access) コントローラ30、DSP (Digital Signal Processor) 31、ペリフェラルインターフェース32、タイマ33、FBK/CdT (Filter Bank/Color Detection) 34、IPE (Inner Product Engine) 35、シリアルバスホストコントローラ36及びシリアルバス37がバス38及び当該バス38の使用権の調停を行うバスアービタ39を順次介してバス40に接続されると共に、当該バス40がそれぞれDRAMインターフェース41、ホストインターフェース42及びROMイ

ンターフェース 43 を介して D R A M 11 (図 5)、C P U 10 (図 5) 及びフラッシュ R O M 12 (図 5) と接続され、かつペリフェラルインターフェース 32 にパラレルポート 44、バッテリーマネージャ 45 及びシリアルポート 46 が接続されることにより構成されている。

この場合図 5 について上述した角速度センサ 18、加速度センサ 19、接触検出 21、距離センサ 22、マイクロホン 23、スピーカ 24、各アクチュエータ 25 (25₁、25₂、25₃……) 及び各ポテンシオメータ 26 (26₁、26₂、26₃……) 等のデバイスは、それぞれハブ 27 (27₁~27_n) を介してシリアルホストコントローラ 36 と接続されると共に、C C D カメラ 20 (図 2) は F B K / C D T 34 と接続され、かつバッテリー 17 (図 5) はバッテリーマネージャ 45 と接続されている。

そしてシリアルホストコントローラ 36 は、接続された各デバイスのうち、角速度センサ 18、加速度センサ 19、接触検出 21、距離センサ 22 及び各ポテンシオメータ 26 (26₁、26₂、26₃……) 等の各センサからそれぞれ与えられるセンサデータを順次取り込み、データの転送を司るバスマスタとして機能する D M A コントローラ 30 の制御のもとに、これらセンサデータをバス 38、バスアービタ 39、バス 40 及び D R A M インターフェース 41 を順次介して D R A M 11 に与えて記憶させる。

またシリアルホストコントローラ 36 は、マイクロホン 23 から与えられる音声データを D S P 31 に送出すると共に、D S P 31 は、この音声データに対して所定のデータ処理を施し、その処理結果でなる音声データを、D M A コントローラ 30 の制御のもとに、バス 38、バスアービタ 39、バス 40 及び D R A M インターフェース 41 を順次介して D R A M 11 に転送し、これを当該 D R A M 11 内の所定の記憶領域に格納する。

また F B K / C D T 34 は、C C D カメラ 20 から供給される画像データを色認識を行いながら複数の解像度に分けて取り込み、得られた画像データを、D M A コントローラ 30 の制御のもとに、バス 38、バスアービタ 39、バス 40 及び D R A M インターフェース 41 を順次介して D R A M 11 (図 5) に転送し、これを後述のように当該 D R A M 11 内の指定された記憶領域に格納

する。

さらにバッテリマネージャ45は、バッテリ17から通知されるエネルギー残量を表すバッテリ残量データを、DMAコントローラ30の制御のもとに、ペリフェラルインターフェース32、バス38、バスアービタ39、バス40及びDRAMインターフェース41を順次介してDRAM11に転送し、これを当該DRAM11内の所定の記憶領域に格納する。

一方、信号処理回路14は、上述のようにCPU10(図5)からバス15(図5)を介して与えられる各アクチュエータ25(25₁、25₂、25₃……)を駆動するための第1の駆動信号や、音声信号及びLEDを駆動するための第2の駆動信号をホストインターフェース42を介して入力する。

そして信号処理回路14は、これらをバス40、バスアービタ39、バス38及びシリアルバスホストコントローラ36並びに対応するハブ27(27₁~27_n)(図5)を順次介して対応するアクチュエータ25(25₁、25₂、25₃……)(図5)や、スピーカ24(図5)又はLEDに送出する。

このようにして信号処理回路14においては、各センサ、CCDカメラ20、マイクロホン23、スピーカ24、各アクチュエータ25(25₁、25₂、25₃……)などの各デバイスと、CPU10との間において、CPU10がロボット装置1の行動を制御するために必要な各種信号処理を行い得るようになされている。

(1-2) 制御プログラムのソフトウェア構成

次にこのロボット装置1における制御プログラムのソフトウェア構成について説明する。

図7は、ロボット装置1における上述の制御プログラムのソフトウェア構成を示すものである。この図7において、デバイス・ドライバ・レイヤ50は、この制御プログラムの最下位層に位置し、複数のデバイス・ドライバからなるデバイス・ドライバ・セット51から構成されている。この場合各デバイス・ドライバは、CCDカメラ20(図5)やタイマ等の通常のコンピュータで用いられるハードウェアに直接アクセスすることを許されたオブジェクトであり、対応するハードウェアからの割り込みを受けて処理を行う。

またロボティック・サーバ・オブジェクト 5 2 は、デバイス・ドライバ・レイヤ 5 0 の上位層に位置し、例えば上述の各種センサやアクチュエータ 2 5 (2 5₁ ~ 2 5_n) 等のハードウェアにアクセスするためのインターフェースを提供するソフトウェア群でなるバーチャル・ロボット 5 3 と、電源の切換えなどを管理するソフトウェア群でなるパワーマネージャ 5 4 と、他の種々のデバイス・ドライバを管理するソフトウェア群でなるデバイス・ドライバ・マネージャ 5 5 と、ロボット装置 1 の機構を管理するソフトウェア群でなるデザインド・ロボット 5 6 とから構成されている。

マネージャ・オブジェクト 5 7 は、オブジェクト・マネージャ 5 8 及びサービス・マネージャ 5 9 から構成されている。この場合オブジェクト・マネージャ 5 8 は、ロボティック・サーバ・オブジェクト 5 2、ミドル・ウェア・レイヤ 6 0、及びアプリケーション・レイヤ 6 1 に含まれる各ソフトウェア群の起動や終了を管理するソフトウェア群であり、サービス・マネージャ 5 9 は、メモリカード 2 8 (図 5) に格納されたコネクションファイルに記述されている各オブジェクト間の接続情報に基づいて各オブジェクトの接続を管理するソフトウェア群である。

ミドル・ウェア・レイヤ 6 0 は、ロボティック・サーバ・オブジェクト 5 2 の上位層に位置し、画像処理や音声処理などのこのロボット装置 1 の基本的な機能を提供するソフトウェア群から構成されている。またアプリケーション・レイヤ 6 1 は、ミドル・ウェア・レイヤ 6 0 の上位層に位置し、当該ミドル・ウェア・レイヤ 4 0 を構成する各ソフトウェア群によって処理された処理結果に基づいてロボット装置 1 の行動を決定するためのソフトウェア群から構成されている。

ミドル・ウェア・レイヤ 6 0 及びアプリケーション・レイヤ 6 1 の具体的なソフトウェア構成をそれぞれ図 8 及び図 9 に示す。ミドル・ウェア・レイヤ 6 0 においては、図 8 から明らかなように、騒音検出用、温度検出用、明るさ検出用、音階認識用、距離検出用、姿勢検出用、接触検出用、動き検出用及び色認識用の各信号処理モジュール 7 0 ~ 7 8 並びに入力セマンティクスコンバータモジュール 7 9 などを有する認識系 7 0 0 と、出力セマンティクスコンバ

ータモジュール 88 並びに姿勢管理用、トラッキング用、モーション再生用、歩行用、転倒復帰、LED 点灯用及び音再生用の各信号処理モジュール 81～87などを有する出力系 800 とから構成されている。

この場合認識系 700 の各信号処理モジュール 70～78 は、ロボティク・サーバ・オブジェクト 52 のバーチャル・ロボット 53 により DRAM 11 (図 5) から読み出される各センサデータや画像データ及び音声データのうちの対応するデータを取り込み、当該データに基づいて所定の処理を施して、処理結果を入力セマンティクスコンバータモジュール 79 に与える。

入力セマンティクスコンバータモジュール 79 は、これら各信号処理モジュール 70～78 から与えられる処理結果に基づいて、「うるさい」、「暑い」、「明るい」、「ボールを検出した」、「転倒を検出した」、「撫でられた」、「叩かれた」、「ドミソの音階が聞こえた」、「動く物体を検出した」又は「障害物を検出した」などの自己及び周囲の状況や、ユーザからの指令及び働きかけを認識し、認識結果をアプリケーション・レイヤ 61 (図 7) に出力する。

アプリケーション・レイヤ 61 は、図 9 に示すように、行動モデルライブラリ 90、行動切換えモジュール 91、学習モジュール 92、感情モデル 93 及び本能モデル 94 の 5 つのモジュールから構成されている。

この場合行動モデルライブラリ 90 には、図 10 に示すように、「バッテリー残量が少なくなった場合」、「転倒復帰する場合」、「障害物を回避する場合」、「感情を表現する場合」、「ボールを検出した場合」などの予め選択されたいくつかの条件項目にそれぞれ対応させて、それぞれ独立した行動モデル $90_1 \sim 90_n$ が設けられている。

そしてこれら行動モデル $90_1 \sim 90_n$ は、それぞれ入力セマンティクスコンバータモジュール 76 から認識結果が与えられたときや、最後の認識結果が与えられてから一定時間が経過したときなどに、必要に応じて後述のように感情モデル 93 に保持されている対応する情動のパラメータ値や、本能モデル 94 に保持されている対応する欲求のパラメータ値を参照しながら続く行動をそれぞれ決定し、決定結果を行動切換えモジュール 91 に出力する。

なおこの実施の形態の場合、各行動モデル $90_1 \sim 90_n$ は、次の行動を決

定する手法として、図8に示すような1つのノード（状態） $NODE_0 \sim NODE_n$ から他のどのノード $NODE_0 \sim NODE_n$ に遷移するかを各ノード $NODE_0 \sim NODE_n$ 間を接続するアーク $ARC_1 \sim ARC_{n+1}$ に対してそれぞれ設定された遷移確率 $P_1 \sim P_{n+1}$ に基づいて確率的に決定する確率オートマトンと呼ばれるアルゴリズムを用いる。

具体的に、各行動モデル $90_1 \sim 90_n$ は、それぞれ自己の行動モデル $90_1 \sim 90_n$ を形成する各ノード $NODE_0 \sim NODE_n$ にそれぞれ対応させて、これらノード $NODE_0 \sim NODE_n$ ごとの図11に示すような状態遷移表100を有している。

この状態遷移表100では、そのノード $NODE_0 \sim NODE_n$ において遷移条件とする入力イベント（認識結果）が「入力イベント名」の行に優先順に列記され、その遷移条件についてのさらなる条件が「データ名」及び「データ範囲」の行における対応する列に記述されている。

従って図11の状態遷移表100で表されるノード $NODE_{100}$ では、「ボールを検出（BALL）」という認識結果が与えられた場合に、当該認識結果と共に与えられるそのボールの「大きさ（SIZE）」が「0から1000」の範囲であることや、「障害物を検出（OBSTACLE）」という認識結果が与えられた場合に、当該認識結果と共に与えられるその障害物までの「距離（DISTANCE）」が「0から100」の範囲であることが他のノードに遷移するための条件となっている。

またこのノード $NODE_{100}$ では、認識結果の入力がない場合においても、行動モデル $90_1 \sim 90_n$ が周期的に参照する感情モデル93及び本能モデル94にそれぞれ保持された各情動及び各欲求のパラメータ値のうち、感情モデル93に保持された「喜び（JOY）」、「驚き（SURPRISE）」若しくは「悲しみ（SUDNESS）」のいずれかのパラメータ値が「50から100」の範囲であるときには他のノードに遷移することができるようになっている。

また状態遷移表100では、「他のノードへの遷移確率」の欄における「遷移先ノード」の列にそのノード $NODE_0 \sim NODE_n$ から遷移できるノード名が列記されると共に、「入力イベント名」、「データ値」及び「データの範囲」

の行に記述された全ての条件が揃ったときに遷移できる他の各ノード $NODE_0 \sim NODE_n$ への遷移確率が「他のノードへの遷移確率」の欄内の対応する箇所にそれぞれ記述され、そのノード $NODE_0 \sim NODE_n$ に遷移する際に出すべき行動が「他のノードへの遷移確率」の欄における「出力行動」の行に記述されている。なお、「他のノードへの遷移確率」の欄における各行の確率の和は、100 [%] となっている。

従って図11の状態遷移表100で表されるノード $node100$ では、例えば「ボールを検出 (BALL)」し、そのボールの「SIZE (大きさ)」が「0から1000」の範囲であるという認識結果が与えられた場合には、「30 [%]」の確率で「 $node120$ (node120)」に遷移でき、そのとき「ACTION1」の行動が出力されることとなる。

そして各行動モデル $90_1 \sim 90_n$ は、それぞれこのような状態遷移表100として記述されたノード $NODE_0 \sim NODE_n$ がいくつも繋がるようにして構成されており、入力セマンティクスコンバータモジュール76から認識結果が与えられたときなどに、対応するノード $NODE_0 \sim NODE_n$ の状態遷移表10を利用して確率的に次の行動を決定し、決定結果を行動切換えモジュール91に出力するようになっている。

行動切換えモジュール91は、行動モデルライブラリ90の各行動モデル $90_1 \sim 90_n$ からそれぞれ出力される行動のうち、予め定められた優先順位の高い行動モデル $90_1 \sim 90_n$ から出力された行動を選択し、当該行動を実行すべき旨のコマンド（以下、これを行動コマンドと呼ぶ）をミドル・ウェア・レイヤ60の出力セマンティクスコンバータ88に送出する。なおこの実施の形態においては、図10において下側に表記された行動モデル $90_1 \sim 90_n$ ほど優先順位が高く設定されている。

また行動切換えモジュール91は、行動完了後に出力セマンティクスコンバータ77から与えられる行動完了情報に基づいて、その行動が完了したことを学習モジュール92、感情モデル93及び本能モデル94に通知する。

一方、学習モジュール92は、入力セマンティクスコンバータ79から与えられる認識結果のうち、「叩かれた」や「撫でられた」など、ユーザからの働

きかけとして受けた教示の認識結果を入力する。

そして学習モジュール 9 2 は、この認識結果及び行動切換えモジュール 9 1 からの通知に基づいて、「叩かれた（叱られた）」ときにはその行動の発現確率を低下させ、「撫でられた（誉められた）」ときにはその行動の発現確率を上昇させるように、行動モデルライブラリ 9 0 における対応する行動モデル 9 0₁ ~ 9 0_n の対応する遷移確率を変更する。

他方、感情モデル 9 3 は、「喜び(joy)」、「悲しみ(sadness)」、「怒り(anger)」、「驚き(surprise)」、「嫌悪(disgust)」及び「恐れ(fear)」の合計 6 つの情動について、情動ごとにその情動の強さを表すパラメータを保持している。そして感情モデル 9 3 は、これら各情動のパラメータ値を、それぞれ入力セマンティクスコンバータモジュール 7 9 から与えられる「叩かれた」及び「撫でられた」などの特定の認識結果と、経過時間及び行動切換えモジュール 9 1 からの通知となどに基づいて周期的に更新している。

具体的には、感情モデル 9 3 は、入力セマンティクスコンバータモジュール 7 9 から与えられる認識結果と、そのときのロボット装置 1 の行動と、前回更新してから経過時間となどに基づいて所定の演算式により算出されるそのときのその情動の変動量を $\Delta E[t]$ 、現在のその情動のパラメータ値を $E[t]$ 、その情動の感度を表す係数を k_e として、下記の式 (1) によって次の周期におけるその情動のパラメータ値 $E[t+1]$ を算出し、これを現在のその情動のパラメータ値 $E[t]$ と置き換えるようにしてその情動のパラメータ値を更新する。また、感情モデル 7 3 は、これと同様にして全ての情動のパラメータ値を更新する。

$$E[t+1] = E[t] + k_e \times \Delta E[t]$$

. (1)

なお、各認識結果や出力セマンティクスコンバータモジュール 8 8 からの通知が各情動のパラメータ値の変動量 $\Delta E[t]$ にどの程度の影響を与えるかは予め決められている。例えば、「叩かれた」といった認識結果が与えられた場合、「怒り」の情動パラメータ値の変動量 $\Delta E[t]$ に、より大きな影響が与

えられ、「撫でられた」といった認識結果が与えられた場合、「喜び」の情動パラメータ値の変動量 ΔE [e] に、より大きな影響が与えられる。

ここで、出力セマンティクスコンバータモジュール 88 からの通知とは、いわゆる行動のフィードバック情報（行動完了情報）であり、行動の出現結果の情報であり、感情モデル 93 は、このような情報によっても感情を変化させる。これは、例えば、「吠える」といった行動により怒りの感情レベルが下がるといったようなことである。なお、出力セマンティクスコンバータモジュール 88 からの通知は、上述した学習モジュール 92 にも入力されており、学習モジュール 92 は、その通知に基づいて行動モデル 90₁ ~ 90_n の対応する遷移確率を変更する。

なお、行動結果のフィードバックは、行動切換えモジュレータ 91 の出力（感情が付加された行動）によりなされるものであってもよい。

一方、本能モデル 94 は、「運動欲 (exercise)」、「愛情欲 (affection)」、「食欲 (appetite)」及び「好奇心 (curiosity)」の互いに独立した 4 つの欲求について、これら欲求ごとにその欲求の強さを表すパラメータを保持している。そして、本能モデル 94 は、これらの欲求のパラメータ値を、それぞれ入力セマンティクスコンバータモジュール 79 から与えられる認識結果や、経過時間及び行動切換えモジュール 91 からの通知などに基づいて周期的に更新する。

具体的には、本能モデル 94 は、「運動欲」、「愛情欲」及び「好奇心」については、認識結果、経過時間及び出力セマンティクスコンバータモジュール 88 からの通知などに基づいて所定の演算式により算出されるそのときのその欲求の変動量を ΔI [k]、現在のその欲求のパラメータ値を I [k]、その欲求の感度を表す係数 k_1 として、所定周期で下記の式 (2) を用いて次の周期におけるその欲求のパラメータ値 I [k + 1] を算出し、この演算結果を現在のその欲求のパラメータ値 I [k] と置き換えるようにしてその欲求のパラメータ値を更新する。また、本能モデル 94 は、これと同様にして「食欲」を除く各欲求のパラメータ値を更新する。

$$I[k+1] = I[k] + k_i \times \Delta I[k]$$

$$\dots \dots \dots (2)$$

なお、認識結果及び出力セマンティクスコンバータモジュール 88 からの通知などが各欲求のパラメータ値の変動量 $\Delta I[k]$ にどの程度の影響を与えるかは予め決められており、例えば出力セマンティクスコンバータモジュール 88 からの通知は、「疲れ」のパラメータ値の変動量 $\Delta I[k]$ に大きな影響を与えるようになっている。

なお、本実施の形態においては、各情動及び各欲求（本能）のパラメータ値がそれぞれ 0 から 100 までの範囲で変動するように規制されており、また係数 k_0 、 k_1 の値も各情動及び欲求ごとに個別に設定されている。

一方、ミドル・ウェア・レイヤ 40 の出力セマンティクスコンバータモジュール 88 は、図 9 に示すように、上述のようにしてアプリケーション・レイヤ 61 の行動切換えモジュール 91 から与えられる「前進」、「喜ぶ」、「鳴く」又は「トラッキング（ボールを追いかける）」といった抽象的な行動コマンドを出力系 800 の対応する信号処理モジュール 78～84 に与える。

そしてこれら信号処理モジュール 81～85 は、行動コマンドが与えられると当該行動コマンドに基づいて、その行動を行うために対応するアクチュエータ 25₁～25_n（図 5）に与えるべきサーボ指令値や、スピーカ 24（図 5）から出力する音の音声データ及び又は「目」の LED に与える駆動データを生成し、これらのデータをロボティック・サーバ・オブジェクト 52 のバーチャル・ロボット 53 及び信号処理回路 14（図 5）を順次介して対応するアクチュエータ 25₁～25_n、スピーカ 24 又は LED に順次送出する。

このようにしてこのロボット装置 1 においては、制御プログラムに基づいて、自己及び周囲の状況や、ユーザからの指示及び働きかけに応じた自律的な行動を行うことができるようになっている。

そしてこれら信号処理モジュール 81～87 は、行動コマンドが与えられると当該行動コマンドに基づいて、その行動を行うために対応するアクチュエータ 25₁～25_n（図 5）に与えるべきサーボ指令値や、スピーカ 24（図 5）から出力する音の音声データ及び又は「目」の LED に与える駆動データを生

成し、これらのデータをロボティック・サーバ・オブジェクト 32 のバーチャル・ロボット 33 及び信号処理回路 14 (図 12) を順次介して対応するアクチュエータ 25₁ ~ 25_n 又はスピーカ 24 又は LED に順次送出する。

このようにしてロボット装置 1 においては、制御プログラムに基づいて、自己 (内部) 及び周囲 (外部) の状況や、使用者からの指示及び働きかけに応じた自律的な行動を行うことができるようになされている。

(2) 本実施の形態における第 1 の外力検出方法

さらに、ロボット装置 1 は、図 13 に示すように、外部から付与された外力を検出する部分として外力検出手段 7 を備えている。この外力検出手段 7 は、外力が加えられたとき、制御手段 6 から駆動部 8 に出力される動作部 9 の制御のための制御信号の変化に基づいて、外力を検出する。

ここで、外力検出手段 7 は、演算処理プログラムとされるいわゆるモジュール或いはオブジェクトとして構成されている。また、制御手段 5 は、例えば CPU 10 である。また、動作部 9 は、上述した脚部ユニット 3A, 3B, 3C, 3D、頭部ユニット 4 或いは尻尾ユニット 5 等である。また、制御信号は、例えばデータによってパルス幅が変調された PWM (pulse width modulation) パルスである。PWM パルスは、制御信号等として多用される信号である。

以上のような構成により具体的には、次のようにして、ロボット装置 1 に付与された外力を検出することができる。

制御手段 10 は、制御信号を動作部 9 に出力する。例えば、ロボット装置 1 は予め決定された行動計画データを複数もっている。ここで、行動計画データとは、ロボット装置 1 が実行可能な行動の情報であって、ロボット装置 1 は、複数の行動計画データにより、種々の行動を出現させることが可能とされている。制御手段 10 は、このように用意されている複数の行動計画データのうち、所定の条件に基づいてひとつの行動計画データを選択し、選択した行動計画データに基づいて制御信号を出力している。上述の所定の条件とは、例えば、ロボット装置 1 の行動を規定する感情が、所定のレベルになることが挙げられる。

制御手段 6 から出力された制御信号は駆動部 8 に出力される。駆動部 8 は、制御信号に基づいて動作部 9 を制御する。そして、駆動部 8 は、行動計画デー

タに基づいて制御手段 6 から次々に出力される制御信号に基づいて動作部 9 を制御する。

外部検出手段 7 は、上述したように制御手段 6 から駆動部 8 に出力される制御信号をモニターして、動作部 9 に外力が加えられた際の制御信号に基づいて当該外力を検出する。例えば、制御信号が P W M パルスである場合には、外力の付与によって変化する P W M パルスのパルス幅に基づいて外力を検出する。このように外力検出手段 7 によって外力が検出される。また、外力検出手段 7 は、外力の情報として、その方向や大きさを得る。

以上のような構成とされることにより、ロボット装置 1 は、姿勢の制御や動作の制御をするとともに、そのような姿勢の制御や動作の制御に使用する制御信号を利用して外力を検出することができるようになる。例えば、ロボット装置 1 は、外力により体が後方に押されたことに対してそれに抗して姿勢を制御するような姿勢制御をするように制御信号を出力しており、その制御信号に基づいて外力の情報を得ることができる。

そして、例えば、ロボット装置 1 は、外力の情報と所定の動作とをリンクさせておくことにより、外力が付与されることにより、その外力の情報を検出して、その外力に対応する所定の動作（例えば、「お座り」等）を出現させることができるようになる。

（ 2 - 1 ） 外力の検出の具体例

次に、外力の検出のための具体例について説明する。上述の実施の形態の説明では、外部から付与される力の情報（大きさや力等）を、制御信号とされる P W M パルスに基づいて算出する場合について説明した。ここでは、そのような P W M パルスに基づいて力の情報を得るための具体例について説明する。大別して以下のようなステップにより、P W M パルスに基づいて力の情報を得ている。

第 1 のステップでは、トルク A（実測）と P W M パルスとの関係を求める。

第 2 のステップでは、センサ等で計測した力（実測）とトルク B（計算値）の関係を求める。

第 3 のステップでは、トルク A、トルク B の間の関係（例えば、関係式）を

求める。

第4のステップでは、上述の第3のステップで求めた関係を使用して、各関節で計算されたPWMパルスのみから力の情報を得る。

以下、この各ステップについて詳述する。

(2-1-1) 実測のトルクとPWMパルスとの関係を求める(第1のステップ)

ここでは、実測のトルクとPWMパルスとの関係を関係式により得る場合について説明する。

まず、図14～図17には、各脚について、トルクとPWMパルスとの値との関係をグラフとして示している。グラフにおいて、横軸は、PWMのパルスを示し、縦軸はトルク値を示している。また、図14の結果は右前脚について示し、図15の結果は左前脚について示し、図16の結果は右後脚について示し、図17の結果は右後脚について示している。そして、各脚について、肩から足先にかけての各関節(ジョイント1～ジョイント3)におけるトルクとPWMパルス幅との関係を示している。また、例えばバネはかりにより脚を引っ張り、それに基づいてトルクを得ており、PWMパルス幅はその際の値である。

この図14～17の結果に示すように、どの脚についても定性的には略同様な関係を得ている。例えば、どの結果においても、PWMパルスが出ているにも関わらず、トルクが変化しない(例えば、モータが回転しない)といった、いわゆる不感帯が存在している。例えば、不感帯は、±320の範囲内で発生している。このような不感帯ではトルクは不定値であり、力の特定に使用することはできない。このようなことから、例えば、力のセンシングには、利用できる領域を使用し、そのような利用できる領域の値から回帰直線により関係を求めている。さらに、全ての関節に関して回帰直線を計算し、その平均値を取り関係式を得ている。

例えば、図14～17のいずれの図からもわかるように、利用できる領域は、PWMパルスが+320～+512と-320～-512があり、PWMパルスが+320～+520の場合のトルクを求める回帰直線については次式(3)のようになる。

$$y = 2.6 \times x - 7.245$$

.....(3)

ここで、 y はトルク値であり、 x はPWMパルス値である。一方、PWMパルスが-320~-512の場合のトルクを求める回帰直線については次式(4)のようになる。

$$y = 2.8 \times x + 8.051$$

.....(4)

以上のような式として、実測のトルクとPWMパルスとの関係を示す関係式を得ることができる。

(2-1-2) センサ等で計測した力とトルク(計算値)の関係を求める(第2のステップ)

例として、ロボット装置に付与される力をトルクに換算する場合について説明する。

(2-1-2-1) 力を計測するシステム

図18には、ロボット装置1に付与される力を計測するシステム(以下、力センサシステムという。)を示している。この力センサシステムは、センサ201、差動アンプ202、A/D変換部203、インターフェース部204及び解析部205によって構成されている。

センサ201は、3軸力を計測する、例えば、3軸力センサである。例えば、この実施例で使用する3軸力センサは、もともと1軸の力センサ201aを3方向に配置して、各力センサ201aが金属球201bの表面に接触された構成となっている。センサ201は、このような構成により、金属球201bに外力が付与されることによって、各力センサ201aがそれに応じた信号を出力する。例えば、各力センサ201aは歪みゲージであり、センサ201は、そのような歪みゲージによるブリッジ回路で構成されている。

このセンサ201によって検出された信号は、差動アンプ202に出力され、差動アンプ202にて、増幅されて、A/D変換部203に出力される。A/D変換部203は、例えば、8ビットのデータ変換部として構成されている。このA/D変換部203によって変換されて得たデータは、いわゆるRS23

2 C等のインターフェース204によって、電圧レベル変換されて、解析部205に出力される。

解析部205では、センサ201により得たデータに基づいて力の解析を行う。解析部205では、解析により、力の情報として、力の方向及び大きさを得る。例えば、解析部205は、適当な解析ソフトと、この解析ソフトの記述に沿って力の解析を行うパーソナルコンピュータ（PC）である。

図19は、力の基準化（キャリブレーション）のための特性図を示している。キャリブレーションでは、例えばハカリを用いて、ある加重をかけたときのアンプからの出力電圧をチェックすることにより行っており、この特性図から比例関係にあることが確認することができる。

Vを計測した出力電圧とすると、求める力Fは以下の式(5)で与えられる。

$$V = V_0 + F \times (V_1 - V_0) / (W_1 - W_0)$$

$$F = (V - V_0) \times (W_1 - W_0) / (V_1 - V_0)$$

.....(5)

以上のような力センサシステムにより、ロボット装置1に付与される力を実測することができる。

(2-1-2-2) 実測の力からトルクへの変換

上述したような力センサシステムにより計測した力を、トルクに変換する変換式について説明する。変換式は、ロボット装置1の各リンクをモデル化することによって、エンドエフェクタとされる力を、トルクに変換するものとして得ている。

図20には、各リンクをモデル化したロボット装置の座標系を示している。このようにロボット装置の各リンクをモデル化することによって、実測の力をトルクに変換することができる。

変換は、例えばヤコビ行列を使用している。例えば、エンドエフェクタとされる力をFとし、その力を与えた際の各関節（リンク）の必要なトルクを τ としたとき、力とトルクとの間には、ヤコビ行列Jを用いて次式のような関係式(6)が成立する。

$$\tau = J^T F$$

..... (6)

先ず、ベース座標系とリンク 1 との間の変換は次のようになる。ベース座標系とは、ロボット装置の胴体部の座標である。ここの変換では、x 軸回りに $\pi/2$ であり、y 軸回りに $-\pi/2$ であり、z 軸回りに θ_1 であるとして、次式 (7) のような行列を得る。

$$\begin{aligned}
 {}^0T_1 &= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \frac{\pi}{2} & -\sin \frac{\pi}{2} & 0 \\ 0 & \sin \frac{\pi}{2} & \cos \frac{\pi}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \left(-\frac{\pi}{2}\right) & -\sin \frac{\pi}{2} & 0 & 0 \\ \sin \left(-\frac{\pi}{2}\right) & \cos \left(-\frac{\pi}{2}\right) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & 0 & 0 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & 0 & 0 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & l_{0x} \\ 0 & 0 & -1 & l_{0x} \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & 0 & 0 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & l_{0x} \\ 0 & 0 & -1 & l_{0y} \\ -\cos \theta_1 & \sin \theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
 &\dots\dots\dots (7)
 \end{aligned}$$

また、リンク 1 とリンク 2 との間の変換は次式 (8) のような行列になる。

$$\begin{aligned}
 {}^1T_2 &= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \left(-\frac{\pi}{2}\right) & -\sin \left(-\frac{\pi}{2}\right) & 0 \\ 0 & \sin \left(-\frac{\pi}{2}\right) & \cos \left(-\frac{\pi}{2}\right) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & 0 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta_2 & -\cos \theta_2 & 1 & -l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
 &\dots\dots\dots (8)
 \end{aligned}$$

また、リンク 2 とリンク 3 との間の変換は次式 (9) のような行列になる。

$${}^2T_3 = \begin{pmatrix} \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 & 0 & l_2 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ \sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

..... (9)

また、リンク 3 とエンドエフェクタとの間の変換は次式 (10) のような行列になる。

$${}^3T_E = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & l_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

..... (10)

以上のようにして得られるベース座標系からエンドエフェクタまでの各行列を掛け合わせるにより、ベース座標系とエンドエフェクタとの間での次式 (11) のような行列が得られる。

$${}^0T_E = {}^0T_1 {}^1T_2 {}^2T_3 {}^3T_E$$

$$= \begin{pmatrix} S_1 C_2 C_3 + C_1 S_3 & -S_1 C_2 C_3 + C_1 C_3 & S_1 S_2 & l_3 (S_1 C_2 C_3 + C_1 S_3) + l_2 S_1 C_2 + l_{0x} \\ S_2 C_3 & -S_2 S_3 & -C_2 & l_3 S_2 C_3 + l_2 S_2 + l_{0y} + l_1 \\ -C_1 C_2 C_3 + S_1 S_3 & C_1 C_2 S_3 + S_1 C_3 & -C_1 S_2 & l_3 (-C_1 C_2 C_3 + S_1 S_3) - l_2 C_1 C_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

..... (11)

これにより、ベース座標系の原点と、エンドエフェクタとの関係は、以下のような式 (12)、式 (13)、式 (14) 及び式 (15) になる。

$$P_x = l_3 (S_1 C_2 C_3 + C_1 S_3) + l_2 S_1 C_2 + l_{0x}$$

$$P_y = l_3 S_2 C_3 + l_2 S_2 + l_{0y} + l_1$$

$$P_z = l_3 (-C_1 C_2 C_3 + S_1 S_3) - l_2 C_1 C_2$$

..... (12)

$$\frac{dP_x}{d\theta_1} = l_3(C_1C_2C_3 + S_1S_3) + l_2C_1C_2$$

$$\frac{dP_x}{d\theta_2} = l_3(-S_1S_2C_3) - l_2S_1S_2$$

$$\frac{dP_x}{d\theta_3} = l_3(-S_1C_2S_3 + C_1C_3)$$

..... (1 3)

$$\frac{dP_y}{d\theta_1} = 0$$

$$\frac{dP_y}{d\theta_2} = l_3C_2C_3 + l_2C_2$$

$$\frac{dP_y}{d\theta_3} = -l_3S_2S_3$$

..... (1 4)

$$\frac{dP_z}{d\theta_1} = l_3(S_1C_2C_3 + C_1S_3) + l_2S_1C_2$$

$$\frac{dP_z}{d\theta_2} = l_3(C_1S_2C_3) + l_2C_1S_2$$

$$\frac{dP_z}{d\theta_3} = l_3(C_1C_2S_3 + S_1C_3)$$

..... (1 5)

以上のような結果からヤコビ行列は、以下の式 (1 6) のようになる。

$$J = \begin{pmatrix} l_3(C_1C_2C_3 + S_1S_3) + l_2C_1C_2 & l_3(-S_1S_2C_3) - l_2S_1S_2 & l_3(-S_1C_2S_3 + C_1C_3) \\ 0 & l_3C_2C_3 + l_2C_2 & -l_3S_2S_3 \\ l_3(S_1C_2C_3 + C_1S_3) + l_2S_1C_2 & l_3(C_1S_2C_3) + l_2C_1S_2 & l_3(C_1C_2S_3 + S_1C_3) \end{pmatrix}$$

..... (1 6)

以上のようにロボット装置のリンクをモデル化することにより、ヤコビ行列による変換により、上述した力センサシステムにより得た力を、トルクに変換することができる。

(2 - 1 - 3) 実測のトルクと変換により得たトルクとの間の関係を使用し

て、各関節で計算されたPWMパルスのみから力の情報を得る（第3のステップ、第4のステップ）

実測のトルクは、上述の文章項目（1-1-1）において説明したトルクであり、変換により得たトルクは、上述の文章項目（2-1-2）において説明した力センサにより求めたトルクである。

図21～図26には、実測のトルクと、力センサの値から変換して得たトルクとの関係をグラフとして示している。例えば、グラフにおいて、縦軸は、変換により得たトルク（力センサ（forceSensor）に基づいて得た値）であり、横軸は、実測のトルク（ApproxEqu）である。また、図21、22は、ジョイント1における関係を示し、図23、24は、ジョイント2における関係を示し、図25、26は、ジョイント3における関係を示している。そして、図21、23、25はPWMパルスに関し正の領域を示し、また、図22、24、26その負の領域を示している。

ジョイント1については次式（17）のような関係式を得ることができる。

$$y = 1.2336x - 866.14 \quad (\text{図21に対応})$$

$$y = 1.4963x - 231.59 \quad (\text{図22に対応})$$

.....(17)

なお、ここで、 y は変換により得たトルクであり、 x は実測のトルクであり、以下、同様。また、ジョイント2については次式（18）のような関係式を得ることができる。

$$y = 0.529x - 7893.45 \quad (\text{図23に対応})$$

$$y = 0.4934x + 910.11 \quad (\text{図24に対応})$$

.....(18)

また、ジョイント3については次式（19）のような関係式を得ることができる。

$$y = 0.6115x - 51.28 \quad (\text{図25に対応})$$

$$y = 0.8738x + 1056.7 \quad (\text{図26に対応})$$

.....(19)

以上のように、図21～26に示すような関係から、力とPWMパルスとの

関係式を得ることができる。この関係式を用いてPWMパルスから力を求めることができるようになる。なお、実測のトルクと変換して得たトルクとの間の関係はこのような関係式によって得られることに限定されるものではない。

図27～図30には、以上のような関係式を利用して、力を加えたときの擬似的に得られる計算された力を示している。

図27～図29は、立っている状態のロボット装置1に対して各方向から力を加えた場合の結果を示しており、図27は、前方向に力を加えた結果であり、図28は、後方向に力を加えた結果であり、図29は、左脚を持ち上げたときの結果を示している。例えば、図27の結果を例として挙げると、前方向に力を加えることは、例えば結果ロボット装置1に伏せをさせようとする際の力の加え方であり、この場合、前脚と左右ともうまく計算されており、後脚はほとんど力が加わっていないことがわかる。これは、ロボット装置1に対して、前方向に力をかけるときに、前脚に力が集中するからである。

また、図30は、立っている姿勢のロボット装置1に対して、前方、右方向、左方向、後方の順序で、力を加えていったとき、すなわち、ロボット装置1の体に一回りに力を加えていったときの結果を示している。ここで、 F_x 、 F_y は、水平方向の力である。この図30に示すように一回り力を加えられたことに対して、ロボット装置1が確実にセンシングしていることがわかる。

以上が、外力の検出のための具体例としての、外部から付与される力の情報（大きさや力等）を、制御信号とされるPWMパルスに基づいて算出した実施例である。

このように、ロボット装置1は、姿勢の制御や動作を制御信号によって制御するとともに、その制御信号を利用して外力を検出することができるようになる。例えば、ロボット装置1は、このようにして検出した外力をトリガとして、動作を他の姿勢に遷移させることもできる。

よって、ユーザは、このようなロボット装置1により、例えば尻を押してある動作を出現させることができ、ロボット装置1がそのようなタイミングにより表出する動作を楽しむことができる。

そして、ロボット装置1は元より使用されている制御信号を利用して外力を

検出しているので、専用のセンサを必要とすることなく、構造容易として外力を検出することを実現している。

(3) 本実施の形態における第2の外力検出方法

(3-1) ロボット装置1における外力検出方法

次にこのロボット装置1における第2の外力検出方法について説明する。

ロボット装置1においては、歩行時における各脚部ユニット3A～3Dの肩関節のピッチ方向及びロール方向の各角度並びに膝関節のピッチ方向の目標角度をそれぞれ運動学や動力学を用いて算出し、算出結果を指示値として、脚部ユニット3A～3Dの肩関節のピッチ方向及びロール方向の各角度並びに膝関節のピッチ方向の角度がそれぞれ指示値となるように肩関節機構及び又は膝関節機構内の対応する各アクチュエータ25を駆動制御することにより歩行を実現している。

ところが歩行時に障害物などに衝突した場合には、当該障害物からの反作用により脚部ユニット3A～3Dの肩関節機構や膝関節機構に負荷がかかり、これら肩関節や膝関節を指示値にまで回転駆動させ得ないことがある。

そこでこのロボット装置1では、障害物に関して最も敏感な脚部ユニット3A～3Dの肩関節のピッチ方向について、当該ピッチ方向用のアクチュエータ25（以下、これを肩関節ピッチ方向用アクチュエータ25と呼ぶ）に与えた指示値と、対応するポテンシオメータ26の出力に基づき得られる当該ピッチ方向のそのときの角度（以下、これを実際値と呼ぶ）との差分を検出し、当該検出した差分の大きさが予め設定された閾値よりも大きいときに障害物と衝突したと判断するようにして、障害物との衝突を検出するようになされている。なお以下においては、前側の脚部ユニット3A～3Dについてのかかる方法を第1の障害物検出方法と呼び、後側の脚部ユニット3A～3Dについてのかかる方法を第2の障害物検出方法と呼ぶものとする。

ここで図31は、障害物がないときの脚部ユニット3A～3Dの肩関節ピッチ方向用アクチュエータ25に与えた指示値と実際値との関係を示すグラフである。この図31において、K1は肩関節ピッチ方向用アクチュエータ25に与えた指示値、K2は実際値、K3は指示値と実際値との差分値を示す。図

31では、指示値及び実際値が一致しているようには見えないが、これは指示値を与えてからこれが実際に反映されるまでに若干の遅れがシステムに発生するためであり、一方のグラフを横方向にシフトすれば指示値及び実際値の2つのグラフはほぼ重なる。

一方、図32A～32Cは、ロボット装置1を歩行させて障害物に衝突させたときの加速度センサ19（図5）の出力K4（図32A）と、前後の各脚部ユニット3A～3Dの肩関節ピッチ方向用アクチュエータ25に与えた指示値及び実際値の関係（図32B、32C）とをそれぞれ示すグラフである。

この場合図32Bにおいて、下段のK5はロボット装置1における前側の脚部ユニット3A、3Bの肩関節ピッチ方向用アクチュエータ25に与えた指示値、K6は対応するポテンシオメータ26の出力に基づき検出された実際値を示しており、上段のK7～K9はそれぞれ、その脚部ユニット3A、3Bの遊脚期間及び接地期間を表す位相と、指示値及び実際値の差分値と、当該差分値が予め設定した閾値よりも大きいかな否かにより生成した検出信号とをそれぞれ示している。

これと同様にして、図32Cにおいて、上段のK10はロボット装置1における後側の脚部ユニット3C、3Dの肩関節ピッチ方向用アクチュエータ25に与えた指示値、K11は対応するポテンシオメータ26の出力に基づき検出された実際値を示しており、下段のK12～K14はそれぞれ、その脚部ユニット3C、3Dの遊脚期間及び接地期間を表す位相と、指示値及び実際値の差分値と、当該差分値が予め設定した閾値よりも大きいかな否かにより生成した検出信号とをそれぞれ示している。

そしてこれら図32B及び32Cにおいて、ロボット装置1が転倒（図32Aにおいて丸で囲んだ部分）する直前にロボット装置1が障害物に衝突した段階で前後の各脚部ユニット3C、3Dについての検出信号に障害物との衝突を検出したことを表す（正確には指示値及び実際値の差分値が予め設定した閾値よりも大きくなったことを表す）パルスPL1～PL3が発生していることが確認できる。従ってこの図32B及び図32Cからも明らかなように、かかる第1及び第2の障害物検出方法によってロボット装置1が障害物に衝突した

ことを検出できることが解る。

しかし、第 1 および第 2 の障害物検出方法だけでは、例えば毛の深いカーペット上を歩行するときのように、障害物との衝突以外の要因で脚部ユニット 3 A～3 D の駆動に負荷が生じた場合に、実際には障害物が存在しないにもかかわらず、障害物と衝突したかのように誤検出することがある。

そこでロボット装置 1 においては、このような誤検出を防止するために、第 1 及び第 2 の障害物検出方法における指示値及び実際値の差分による検出の閾値を高くし、これによって検出できない障害物との衝突を別の方法（以下、これを第 3 の障害物検出方法と呼ぶ）によって検出するようになされている。

實際上、ロボット装置 1 においては、この第 3 の障害物検出方法として、安定余裕という概念を導入した方法を用いている。ここで安定余裕とは、図 3 3 に示すように、ロボット装置 1 の重心を地面に投影した点（以下、これを重心投影点と呼ぶ）P G から、歩行時に接地している 3 つの脚部ユニット 3 A～3 D（図 3 3 では脚部ユニット 3 A、3 B、3 D）の各接地点 P A、P B、P D を結んでできる三角形 T R の各辺 T R E 1～T R E 3 までのそれぞれの距離 L 1～L 3 と定義する。

そしてこのいずれかの安定余裕 L 1～L 3 が負の値となると（すなわち重心投影点 P G がかかる三角形 T R の外側に出ると）転倒するため、ロボット装置 1 は安定余裕 L 1～L 3 が常に負の値をとらないように姿勢制御を行いながら歩行するが、障害物と衝突した場合には姿勢を崩していずれかの安定余裕 L 1～L 3 が負となったり、又は負とならないまでも安定余裕 L 1～L 3 が極端に小さくなって姿勢が不安定となる。

そこでロボット装置 1 においては、歩行の際に各安定余裕 L 1～L 3 を常時監視し、いずれかの安定余裕 L 1～L 3 の値（そのとき最小の安定余裕 L 1～L 3 の値）が予め設定した閾値よりも小さくなったときに障害物に衝突したものと判断するようになされている。

實際上、障害物との衝突がない場合における最小の安定余裕 L 1～L 3 の理論値と実測値との関係は図 1 3 に示すようになる。この図 3 3 において、K 2 0 は理論値、K 2 1 は実測値をそれぞれ示しており、さらに K 2 2 はある脚部

ユニット 3 A ～ 3 D の遊脚期間及び接地期間を表す位相を示している。

そしてこの図 3 4 から明らかなように、障害物との衝突がない場合には、最小の安定余裕 $L_1 \sim L_3$ の理論値と実測値はほぼ同じ位相で推移する。従ってかかる第 3 の障害物検出方法によって、障害物との衝突を検出することができることが分かる。

かくしてロボット装置 1 においては、これら第 1 ～ 第 3 の障害物検出方法により歩行時における障害物との衝突の有無を順次判断すると共に、障害物に衝突したと判断したときには例えば歩き方や歩行方向を変更するなどの転倒防止のための所定の対策を実行するようになされ、これにより障害物との衝突に起因する転倒を未然かつ有効に防止し得るようになされている。

因みに図 3 5 ～ 3 7 に、上記の障害物検出方法による障害物検出の検出結果を示す。

これら図 3 5 ～ 3 7 において、上から 4 つ分の各グラフは、それぞれ前右側、前左側、後左側及び後右側の各脚部ユニット 3 B、3 A、3 C、3 D に関する肩関節ピッチ方向用アクチュエータ 2 5 への指示値及び実際値の差分値 (K_{30B} 、 K_{30A} 、 K_{30C} 、 K_{30D}) と、当該差分値が予め設定した閾値よりも大きいかな否かにより生成した検出信号 (K_{31B} 、 K_{31A} 、 K_{31C} 、 K_{31D}) とを示す。

また図 3 5 ～ 3 7 において、上から 5 段目のグラフは、最小の安定余裕 $L_1 \sim L_3$ の理論値 (K_{32}) 及び実測値 (K_{33}) と、当該実測値が予め設定された閾値よりも小さくなったかな否かによって生成した第 2 の障害物検出方法による障害物との衝突の有無を検出するための検出信号 (K_{34}) とをそれぞれ示す。

さらに図 3 5 ～ 3 7 において、下段のグラフは、加速度センサの出力 (K_{35}) と、第 1 及び第 2 の障害物検出方法による最終的な障害物検出結果を表す検出信号 (K_{36}) とを示す。

そしてこれら図 3 5 ～ 3 7 のうち、図 3 5 では、ロボット装置 1 が姿勢を崩す直前に第 1 の障害物検出方法により障害物との衝突を検出し、図 3 6 では、第 3 の障害物検出方法により障害物との衝突を検出し、図 3 7 では、ロボット

装置 1 が転倒する直前に第 2 の障害物検出方法により障害物との衝突をそれぞれ検出していることが解る。

従ってこれら図 3 5 ～ 3 7 から第 1 ～ 第 3 の障害物検出方法によって精度良くかつ確実にロボット装置 1 が転倒等する前に障害物との衝突を検出することができることが確認できた。

なお安定余裕の具体的な計算方法を以下に示す。

まず、図 3 8 に示すように、3 つの接地脚の接地点をそれぞれ P_{10} 、 P_{11} 及び P_{12} として、関節角から運動学を用いてこれらの 3 次元空間上の座標 P_{10} 、 P_{11} 及び P_{12} を求める。

次に次式 (20)、式 (21) 及び式 (22)

$$\frac{P_{10} P_{11}}{\|P_{10} P_{11}\|} = a$$

..... (20)

$$\frac{P_{10} P_{12}}{\|P_{10} P_{12}\|} = b$$

..... (21)

$$\frac{P_{11} P_{12}}{\|P_{11} P_{12}\|} = c$$

..... (22)

のようにして、ベクトル $P_{10} P_{11}$ 、 $P_{10} P_{12}$ 及び $P_{11} P_{12}$ の各単位ベクトル a 、 b 及び c をそれぞれ求め、この後次式 (23)

$$u = \frac{a \times b}{\|a \times b\|}$$

..... (23)

のようにして、ベクトル a 及びベクトル b の外積の単位ベクトルでなる方向ベクトル u を計算する。

さらにロボット装置 1 の重心を G として、次式 (24)

$$S_{m1} = (u \times a) \cdot P_1 G$$

..... (24)

のように、方向ベクトル u 及びベクトル a の外積 $(u \times a)$ とベクトル $P_1 G$ との内積を計算する。これにより辺 $P_{10} P_{11}$ に対応した安定余裕 s_{m1} を求めることができる。因みに外積 $(u \times a)$ の大きさは、方向ベクトル u 及びベクトル a が直交しているため「1」となる。

またこれと同様にして、次式 (25)

$$S_{m2} = (u \times b) \cdot P_1 G$$

..... (25)

のように、方向ベクトル u 及びベクトル b の外積 $(u \times b)$ とベクトル $P_1 G$ との内積を計算することにより辺 $P_{10} P_{12}$ に対応した安定余裕 s_{m2} を求めることができ、次式 (26)

$$S_{m3} = (u \times c) \cdot P_1 G$$

..... (26)

のように、方向ベクトル u 及びベクトル c の外積 $(u \times c)$ とベクトル $P_2 G$ との内積を計算することにより辺 $P_{11} P_{12}$ に対応した安定余裕 s_{m3} を求めることができる。

そしてこのようにして得られた3つの安定余裕 s_{m1} 、 s_{m2} 及び s_{m3} の中から最小のものを選択し、これを予め設定された閾値と比較することにより第3の障害物検出方法による障害物との衝突の有無を判断することができる。

(3-2) 障害物検出処理手順 RT1

ここでロボット装置における上述のような障害物検出処理は、図39に示す障害物検出処理手順 RT1 に従って CPU10 (図4) により行われる。

實際上 CPU10 は、歩行動作の開始と同時にこの障害物検出処理手順 RT1 をステップ SP0 にいて開始し、続くステップ SP1 において左前の脚部ユニット 3B が遊脚期間であるか否かを判断する。

そして CPU10 は、このステップ SP1 において否定結果を得るとステップ SP4 に進み、これに対して肯定結果を得るとステップ SP2 に進んで、C

P U 1 0 が最後にその左前の脚部ユニット 3 B における肩関節のピッチ方向用アクチュエータ 2 5 に与えた指示値と、当該ピッチ方向用アクチュエータ 2 5 と対応するポテンシオメータ 2 6 の出力に基づき得られるそのときのその肩関節のピッチ方向の実際値との差分値を算出する。

次いで C P U 1 0 は、ステップ S P 3 に進んでステップ S P 2 において算出された差分値が予め設定された閾値よりも大きいかな否かを判断する。なおこの実施の形態の場合には、この閾値の値は $-18 [^{\circ}]$ に設定されている。

そして C P U 1 0 は、このステップ S P 3 において否定結果を得るとステップ S P 4 に進み、この後右前の脚部ユニット 3 A についてステップ S P 1 ～ステップ S P 3 と同様にしてステップ S P 4 ～ステップ S P 6 を処理する。

このように C P U 1 0 は、ステップ S P 1 ～ステップ S P 6 において第 1 の障害物検出方法により障害物との衝突との有無を判断する。そして C P U 1 0 は、このときステップ S P 3 又はステップ S P 6 において肯定結果を得ることにより障害物との衝突を検出すると、ステップ S P 1 6 に進んで歩き方を変更させ又は歩行方向を変更させるなどの所定の転倒防止処理を実行した後、ステップ S P 1 7 を介してステップ S P 1 に戻り、この後再びこの障害物検出処理手順 R T 1 を当該ステップ S P 1 から開始する。

一方、C P U 1 0 は、ステップ S P 4 又はステップ S P 6 において否定結果を得ることにより第 1 の障害物検出方法により障害物との衝突を検出しなかったときにはステップ S P 7 に進み、左後の脚部ユニット 3 D が遊脚期間であるかな否かを判断する。

そして C P U 1 0 は、このステップ S P 7 において肯定結果を得ると、ステップ S P 8 に進んで C P U が最後にその左後の脚部ユニット 3 C における肩関節のピッチ方向用アクチュエータ 2 5 に与えた指示値と、当該ピッチ方向用アクチュエータ 2 5 と対応するポテンシオメータ 2 6 の出力に基づき得られるそのときのその肩関節のピッチ方向の実際値との差分値が「0」であったと仮記憶した後ステップ S P 1 1 に進む。

これに対して C P U 1 0 は、ステップ S P 7 において肯定結果を得るとステップ S P 9 に進んでかかる差分値を算出すると共に、この後ステップ S P 1 0

に進んでステップSP9において算出した差分値が予め設定された閾値よりも大きく、かつ今回の差分値が前回の差分値よりも大きいかな否か（差分値が大きくなったかな否か）を判断する。なおこの実施の形態の場合には、この閾値の値は15〔°〕に設定されている。

そしてCPU10は、このステップSP10において否定結果を得るとステップSP11に進み、この後右後の脚部ユニット3DについてステップSP7～ステップSP10と同様にしてステップSP11～ステップSP14を処理する。

このようにCPU10は、ステップSP7～ステップSP14において第2の障害物検出方法により障害物との衝突との有無を判断する。そしてCPU10は、このときステップSP10又はステップSP14において肯定結果を得ることにより障害物との衝突を検出すると、ステップSP16に進んで上述のような転倒防止処理を実行する。

さらにCPU10は、続くステップSP17においてそのとき記憶している左後側又は右後側の各脚部ユニット3C、3Dについての差分値をステップSP9又はステップSP14において得られた値に更新した後ステップSP1に戻り、この後再びこの障害物検出処理手順RT1を当該ステップSP1から開始する。

他方、CPU10は、ステップSP10又はステップSP14において否定結果を得ることにより障害物との衝突を検出しなかったときにはステップSP15に進み、このステップSP15において第3の障害物検出方法により障害物との衝突の有無を判断する。

すなわちCPU10は、ステップSP15に進むと（1）式～（7）式について上述した方法によりそのときの3つの安定余裕L1～L3（図33）をそれぞれ算出すると共に、そのうちの最小の安定余裕L1～L3が予め設定された閾値よりも大きいかな否かを判断する。なおこの実施の形態の場合には、この閾値の値は2〔mm〕に設定されている。

ここでこのステップSP15において肯定結果を得ることは、第3の障害物検出方法によって障害物との衝突を検出したことを意味し、このときCPU1

0はステップSP16に進んで上述の転倒防止処理を実行すると共に、ステップSP17に進んでそのとき記憶している左後側又は右後側の各脚部ユニット3C、3Dについての差分値をステップSP8又はステップSP12において仮記憶した値(「0」)に更新した後ステップSP1に戻り、この後再びこの障害物検出処理手順RT1を当該ステップSP1から開始する。

これに対してステップSP15において否定結果を得ることは、第1～第3の障害物検出方法のいずれの方法によっても障害物との衝突を検出しなかったことを意味し、このときCPU10はステップSP17に進んでそのとき記憶している左後側又は右後側の各脚部ユニット3C、3Dについての差分値をステップSP8又はステップSP12において仮記憶した値(「0」)に更新した後ステップSP1に戻り、この後再びこの障害物検出処理手順RT1を当該ステップSP1から開始する。

このようにしてCPUは、歩行動作中にこの障害物検出処理手順RT1を順次繰り返し行い、これにより障害物と衝突した場合においても転倒等しないようにロボット装置1の歩行を制御する。

(4) 第2の外力検出方法の作用及び効果

以上の構成において、ロボット装置1のCPU10は、遊脚である脚部ユニット3A～3Dにおける肩関節のピッチ方向用アクチュエータ25に与えた指示値と、このときそのピッチ方向用アクチュエータ25と対応するポテンシオメータ26の出力に基づき検出される実際値とに基づいて障害物との衝突の有無を判断すると共に、これによって障害物との衝突を検出できなかったときには各安定余裕L1～L3をそれぞれ計算し、当該計算結果に基づいて障害物との検出の有無を判断する。

従ってこのロボット装置1では、実際の各脚部ユニット3A～3Dの状態や姿勢に基づいて障害物との衝突を検出するため、例えばCCDカメラ20(図5)からの画像データに基づく画像処理等によって障害物を検出する場合に比べて格段的に精度良く障害物との衝突を検出することができる。

またこのロボット装置1では、かかる障害物との検出を既存のセンサ(各脚部ユニット3A～3Dにおける肩関節のピッチ方向用ポテンシオメータ26)

の出力に基づいて行うため、例えば特別の力センサを設置する場合に比べて全体としての構成を簡易化し、製造コストを安価に抑え、かつ重量の増加を有効に防止することができる。

以上の構成によれば、遊脚である脚部ユニット 3 A～3 D における肩関節のピッチ方向用アクチュエータ 2 5 に与えた指示値と、このときそのピッチ方向用アクチュエータ 2 5 と対応するポテンシオメータ 2 6 の出力に基づき検出される実際値とに基づいて障害物との衝突の有無を判断すると共に、これによって障害物との衝突を検出できなかったときには各安定余裕 L 1～L 3 をそれぞれ計算し、当該計算結果に基づいて障害物との検出の有無を判断するようにしたことにより、機構を複雑化させることなく障害物との衝突を確実に検出し得るようにすることができ、かくして不整地においても安定した歩行を行い得る簡易な構成のロボット装置を実現できる。

(5) 他の実施の形態

なお上述の実施の形態においては、本発明を図 4 のように構成されたベットボット 1 に適用するようにした場合について述べたが、本発明はこれに限らず、例えば 2 足歩行型のロボットやこの他種々の形態のロボットに広く適用することができる。

また上述の実施の形態においては、第 1～第 3 の障害物検出方法を併用するようにした場合について述べたが、本発明はこれに限らず、これら第 1～第 3 の障害物検出方法のうちの 1 つ又は任意の 2 つの方法を利用するようにしても良い。

さらに上述の実施の形態においては、各脚部ユニット 3 A～3 D の肩関節ピッチ方向用アクチュエータ 2 5 についての指示値及び実際値に基づいて障害物との衝突を検出するようにした場合について述べたが、本発明はこれに限らず、各脚部ユニット 3 A～3 D における肩関節機構のロール方向用のアクチュエータ 2 5 についての指示値及び実際値や、膝関節機構のアクチュエータ 2 5 についての指示値及び実際値に基づいて障害物との衝突を検出するようにしても良く、要は、所定の関節機構を必要に応じて駆動させながら歩行するロボット装置における当該関節機構を駆動する駆動手段についての指示値及び実

際値に基づいて障害物との衝突を検出するのであれば対象とする駆動手段としてはこの他種々の駆動手段を広く適用することができる。

さらに上述の実施の形態においては、駆動時における肩関節ピッチ方向用アクチュエータ 25 の駆動量の指示値を当該肩関節ピッチ方向用アクチュエータ 25 に与える駆動制御手段と、指示値及び実際値に基づいて障害物の有無を判断する判断手段と、接地している各脚部ユニット 3A～3D の接地点 PA、PB、PD を結んでできる三角形 TR (4 脚以上の場合には他の多角形であることが多い) の各辺 TRE1～TRE3 からロボット装置 1 の重心を歩行面に投影した投影点 PG までの各距離 (安定余裕) L1～L3 をそれぞれ演算する演算手段とを 1 つの CPU 10 により構成するようにした場合について述べたが、本発明はこれに限らず、これらを別体とするようにしても良い。

さらに上述の実施の形態においては、駆動時における駆動手段の駆動量の実際値を検出する駆動量検出手段がポテンシオメータ 26 である場合について述べたが、本発明はこれに限らず、駆動手段の種類に応じてこの他種々のものを広く適用することができる。

さらに上述の実施の形態においては、第 1 及び第 2 の障害物検出方法により障害物を検出できなかったときに第 3 の障害物検出方法により障害物検出を行うようにした場合について述べたが、本発明はこれに限らず、第 1～第 3 の障害物検出方法による障害物検出をこれ以外の順序で行ったり、これらを同時に併用するようにしても良い。

産業上の利用可能性

本発明にかかるロボット装置は、制御信号によって動作制御される動作部と、所定の動作を実行させるために制御信号を出力する制御手段と、動作部に外力が加えられたときの制御信号の変化に基づいて外力を検出する外力検出手段とを備えることにより、外力検出のための専用センサを用いることなく、自己の動作を制御する制御信号に基づいて外力を検出することができる。

また、本発明にかかるロボット装置は、動作部により駆動される関節機構と、

関節機構の駆動時における駆動手段の駆動量の指示値を当該駆動手段に与える駆動制御手段と、関節機構の駆動時における駆動手段の駆動量の実際値を検出する駆動量検出手段とを備え、指示値及び実際値に基づいて障害物の有無を判断することにより、煩雑な構成を必要とすることなく障害物検出を行うことができると共に、駆動手段に与える指示値及び実際値に基づいて障害物の有無を検出することから、実際の障害物との物理的な衝突を確実に検出することができる。

さらに本発明のロボット装置によれば、所定パターンで駆動される複数の脚部と、複数の脚部のうち接地している各脚部の接地位置を結んでできる多角形の各辺から当該ロボット装置の重心を歩行面に投影した投影点までの各距離をそれぞれ演算する演算手段と、演算手段により算出された多角形の各辺から投影点までの各距離に基づいて障害物の有無を判断することにより、特別な部品を付加することなく障害物との物理的な衝突を確実に検出することができ、簡易な構成で障害物との衝突を確実に検出し得る。

また、本発明にかかるロボット装置の制御方法は、制御信号によってロボット装置の動作部の動作制御をする制御工程と、外力が加えられたときの制御信号の変化に基づいて、ロボット装置への外力を検出する外力検出工程とを有することにより、外力検出のための専用センサを用いることなく、ロボット装置の動作を制御する制御信号に基づいて外力を検出する。

また本発明によれば、ロボット装置の制御方法において、動作部が関節機構を駆動する際に、動作部に駆動量の指示値を与える駆動制御工程と、動作部の駆動量の実際値を検出する駆動量検出工程と、指示値及び実際値に基づいて外力の有無を判断することにより、煩雑な構成を必要とすることなく外力検出を行うことができると共に、実際の障害物との物理的な衝突を確実に検出することができ、かくして簡易な構成で障害物との衝突を確実に検出し得る。

さらに、本発明のロボット装置の制御方法によれば、所定パターンで駆動して歩行する歩行工程と、複数の脚部のうち接地している各脚部の接地位置を結んでできる多角形の各辺から当該ロボット装置の重心を歩行面に投影した投影点までの各距離をそれぞれ演算する演算工程と、多角形の各辺から投影点ま

での各距離に基づいて障害物の有無を判断するため、特別な部品を付加することなく障害物との物理的な衝突を確実に検出することができ、簡易な構成で障害物との衝突を確実に検出し得る。

さらに本発明の外力検出装置によれば、ロボット装置の各部を駆動する動作手段と、動作手段の動作量の指示値を動作手段に与える制御手段と、動作手段の動作量の実際値を検出する動作量検出手段と、指示値及び実際値に基づいて外力の有無を判断する判断手段とを設けたことにより、煩雑な構成を必要とすることなく障害物検出を行うことができると共に、実際の障害物との物理的な衝突を確実に検出することができ、簡易な構成で障害物との衝突を確実に検出し得る。

また、本発明にかかるプログラムは、制御信号によってロボット装置の動作部の動作制御をする制御工程と、外力が加えられたときの制御信号の変化に基づいて、ロボット装置への外力を検出する外力検出工程とをロボット装置に実行させることにより、このようなプログラムにより動作を実行するロボット装置は、外力検出のための専用センサを用いることなく、自己の動作を制御する制御信号に基づいて外力を検出することができる。

また、本発明にかかる記録媒体は、制御信号によってロボット装置の動作部の動作制御をする制御工程と、外力が加えられたときの制御信号の変化に基づいて、ロボット装置への外力を検出する外力検出工程とを有することにより、このような記録媒体に記録されているプログラムにより動作を実行するロボット装置は、外力検出のための専用センサを用いることなく、自己の動作を制御する制御信号に基づいて外力を検出することができる。

さらに、本発明の外力検出方法によれば、ロボット装置の各部を駆動する動作手段に対し、動作手段の駆動量の指示値を与える工程と、動作手段の駆動量の実際値を検出する工程と、指示値及び実際値に基づいて障害物の有無を判断する工程とを設けるようにしたことにより、煩雑な構成を必要とすることなく障害物検出を行うことができると共に、実際の障害物との物理的な衝突を確実に検出することができ、簡易な構成で障害物との衝突を確実に検出し得る。

請求の範囲

1. 制御信号によって動作制御される動作部と、
所定の動作を実行させるために上記制御信号を出力する制御手段と、
上記動作部に外力が加えられたときの上記制御信号の変化に基づいて、外力を検出する外力検出手段と
を備えるロボット装置。
2. 上記外力検出手段は、演算処理プログラムによって、上記制御信号の変化に基づいて外力を検出することを特徴とする請求の範囲第1項記載のロボット装置。
3. 上記外力検出手段による上記外力の検出が、外力の方向及び／又は大きさの検出であることを特徴とする請求の範囲第1項記載のロボット装置。
4. 上記制御手段は、上記動作部を制御して自律的な動作をさせており、
上記外力検出手段による所定の外力の検出をトリガとして自律的に動作を発生させることを特徴とする請求の範囲第1項記載のロボット装置。
5. 上記制御信号は、データによってパルス幅が変調されたPWM (pulse width modulation) パルスであり、
上記外力検出手段は、上記動作部に外力が加えられたときの上記PWMパルス幅の変化に基づいて外力を検出することを特徴とする請求の範囲第1項記載のロボット装置。
6. 上記動作部により駆動される関節機構と、
上記関節機構の駆動時における上記動作部の駆動量の指示値を当該動作部に与える駆動制御手段と、
上記関節機構の駆動時における上記動作部の駆動量の実際値を検出する駆動量検出手段とを備え、
上記外力検出手段は、上記駆動制御手段が上記動作部に与えた上記指示値及び上記駆動量検出手段により検出された上記動作部の駆動量の実際値に基づいて外力の有無を判断することを特徴とする請求の範囲第1項記載のロボッ

ト装置。

7. 上記関節機構は、脚部の肩関節機構であることを特徴とする請求の範囲第6項記載のロボット装置。

8. 上記動作部は、上記脚部をピッチ方向に駆動するためのアクチュエータであることを特徴とする請求の範囲第6項記載のロボット装置。

9. 上記外力検出手段により外力が検出された場合に転倒防止用の所定の制御処理を実行する転倒防止制御手段を備えることを特徴とする請求の範囲第6項記載のロボット装置。

10. 所定パターンで駆動される複数の脚部と、

上記複数の脚部のうち接地している各上記脚部の接地部を結んでできる多角形の各辺から当該ロボット装置の重心を歩行面に投影した投影点までの各距離をそれぞれ演算する演算手段とを備え、

上記外力検出手段は、上記指示値及び上記実際値と、上記演算手段により算出された上記多角形の各辺から上記投影点までの各距離とに基づいて外力の有無を判断することを特徴とする請求の範囲第6項記載のロボット装置。

11. 制御信号によってロボット装置の動作部の動作制御をする制御工程と、

外力が加えられたときの上記制御信号の変化に基づいて、上記ロボット装置への外力を検出する外力検出工程と

を有するロボット装置の制御方法。

12. 上記外力検出工程では、演算処理プログラムによって、上記制御信号の変化に基づいて外力が検出されることを特徴とする請求の範囲第11項記載のロボット装置の制御方法。

13. 上記外力検出工程では、外力の方向及び／又は大きさが検出されることを特徴とする請求の範囲第11項記載のロボット装置の制御方法。

14. 上記制御信号は、データによってパルス幅が変調されたPWM (pulse width modulation) パルスであり、

上記外力検出工程では、上記動作部に外力が加えられたときの上記PWMパルス幅の変化に基づいて外力が検出されることを特徴とする請求の範囲第11項記載のロボット装置の制御方法。

15. 上記動作部が関節機構を駆動する際に、上記動作部に上記動作部の駆動量の指示値を与える駆動制御工程と、

上記動作部の駆動量の実際値を検出する駆動量検出工程とを有し、

上記外力検出工程では、上記駆動制御工程において上記動作部に与えられた上記指示値及び上記駆動量検出手段において検出された上記動作部の駆動量の実際値に基づいて外力の有無が判断されることを特徴とする請求の範囲第1項記載のロボット装置の制御方法。

16. 上記関節機構は、脚部の肩関節機構であることを特徴とする請求の範囲第15項記載のロボット装置の制御方法。

17. 上記駆動部は、上記脚部をピッチ方向に駆動するためのアクチュエータであることを特徴とする請求の範囲第15項記載のロボット装置の制御方法。

18. 上記外力検出工程において外力が検出された場合、転倒防止用の所定の制御処理を実行する転倒防止処理工程を有することを特徴とする請求の範囲第15項記載のロボット装置の制御方法。

19. 所定パターンで駆動される複数の脚部を所定パターンで駆動して歩行する歩行工程と、

上記歩行工程において、複数の脚部のうち、接地している各上記脚部の接地位置を結んでできる多角形の各辺から当該ロボット装置の重心を歩行面に投影した投影点までの各距離をそれぞれ演算する演算工程とを有し、

上記外力検出工程では、上記指示値及び上記実際値と、上記演算工程において算出された上記多角形の各辺から上記投影点までの各距離とに基づいて外力の有無が判断されることを特徴とする請求の範囲第15項記載のロボット装置の制御方法。

21. ロボット装置の各部を駆動する動作手段と、

上記動作手段の動作量の指示値を当該動作手段に与える制御手段と、

上記動作手段の動作量の実際値を検出する動作量検出手段と、

上記制御手段が上記動作手段に与えた上記指示値及び上記動作量検出手段により検出された上記動作手段の駆動量の実際値に基づいて外力の有無を判断する外力検出手段とを備えることを特徴とする外力検出装置。

22. ロボット装置の各部を駆動する動作手段に対し、上記動作時における当該駆動手段の駆動量の指示値を与える工程と、

上記動作時における上記動作手段の駆動量の実際値を検出する工程と、
上記指示値及び上記実際値に基づいて外力の有無を判断する工程と
を備えることを特徴とする外力検出方法。

23. 制御信号によってロボット装置の動作部の動作制御をする制御工程と、
外力が加えられたときの上記制御信号の変化に基づいて、上記ロボット装置への外力を検出する外力検出工程と

をロボット装置に実行させることを特徴とするプログラム。

24. 上記外力検出工程では、演算処理プログラムによって、上記制御信号の変化に基づいて外力を検出することを特徴とする請求の範囲第23項記載のプログラム。

25. 上記制御信号は、データによってパルス幅が変調されたPWM (pulse width modulation) パルスであり、

上記外力検出工程では、上記動作部に外力が加えられたときの上記PWMパルス幅の変化に基づいて外力が検出されることを特徴とする請求の範囲第23項記載のプログラム。

26. 制御信号によってロボット装置の動作部の動作制御をする制御工程と、
外力が加えられたときの上記制御信号の変化に基づいて、上記ロボット装置への外力を検出する外力検出工程と

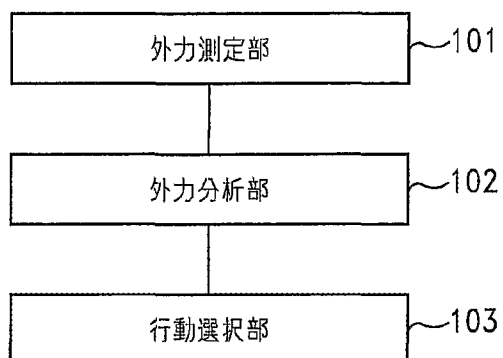
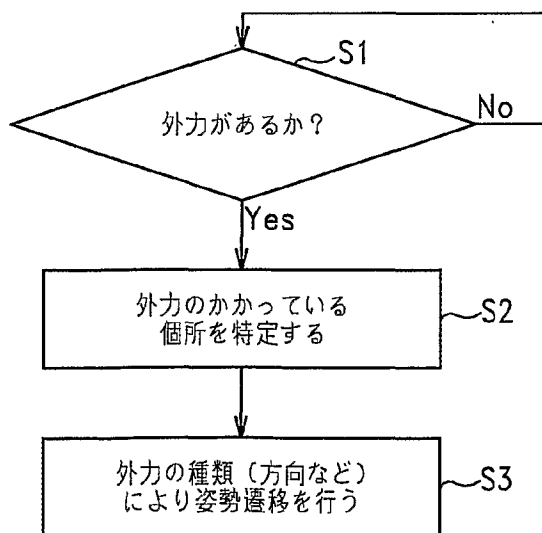
をロボット装置に実行させるプログラムが記録された記録媒体。

27. 上記外力検出工程では、演算処理プログラムによって、上記制御信号の変化に基づいて外力が検出されることを特徴とする請求の範囲第26項記載の記録媒体。

28. 上記制御信号は、データによってパルス幅が変調されたPWM (pulse width modulation) パルスであり、

上記外力検出工程では、上記動作部に外力が加えられたときの上記PWMパルス幅の変化に基づいて外力が検出されることを特徴とする請求の範囲第26項記載の記録媒体。

1/38

**FIG. 1****FIG. 2**

2/38

```
If ForceKind == ForceToFoot
    if BehaviourStatus == Walking
        Command(StopWalking);
    if BehaviourStatus == Standing
        Command(HandsUp);

If ForceKind == ForceToBody
    if BehaviourStatus == Standing
        if ForceDirection == Backward
            Command(SitDown);
        if ForceDirection == Forward
            Command(LieDown);
```

FIG.3

3/38

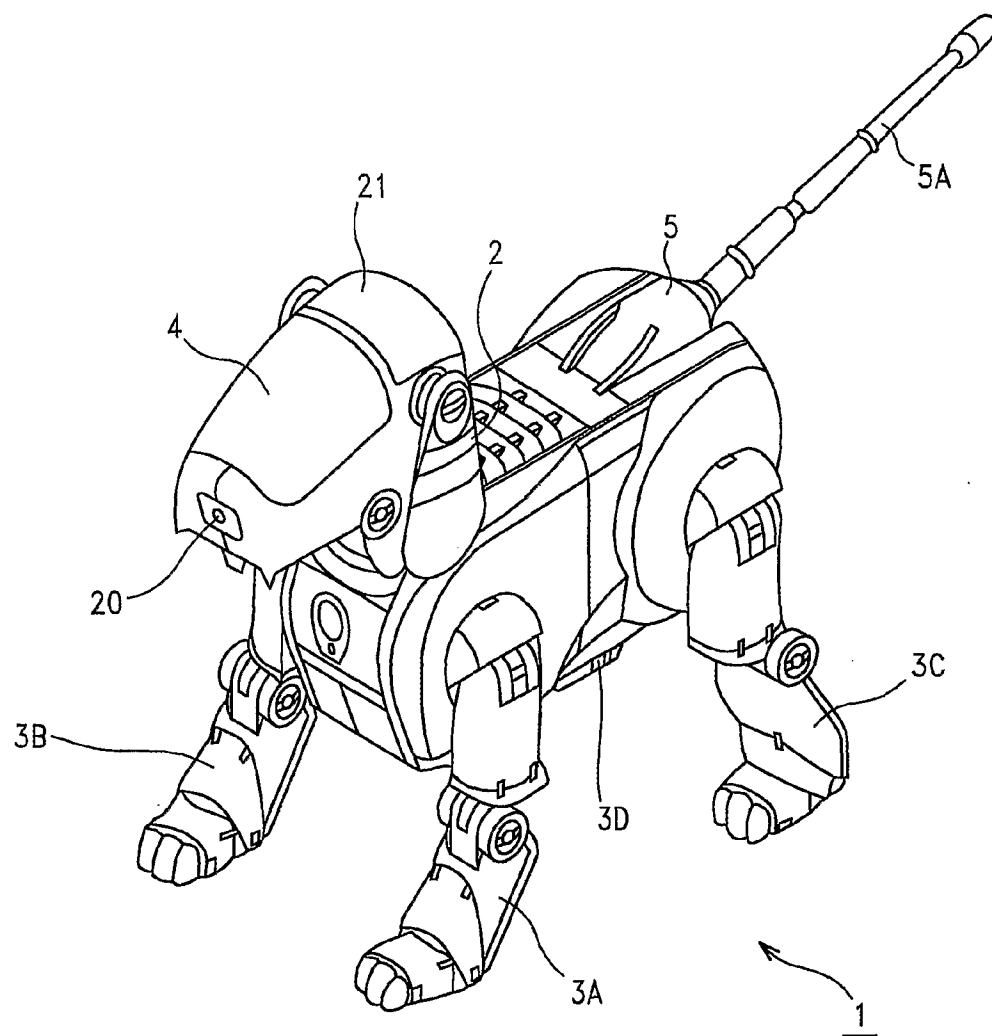
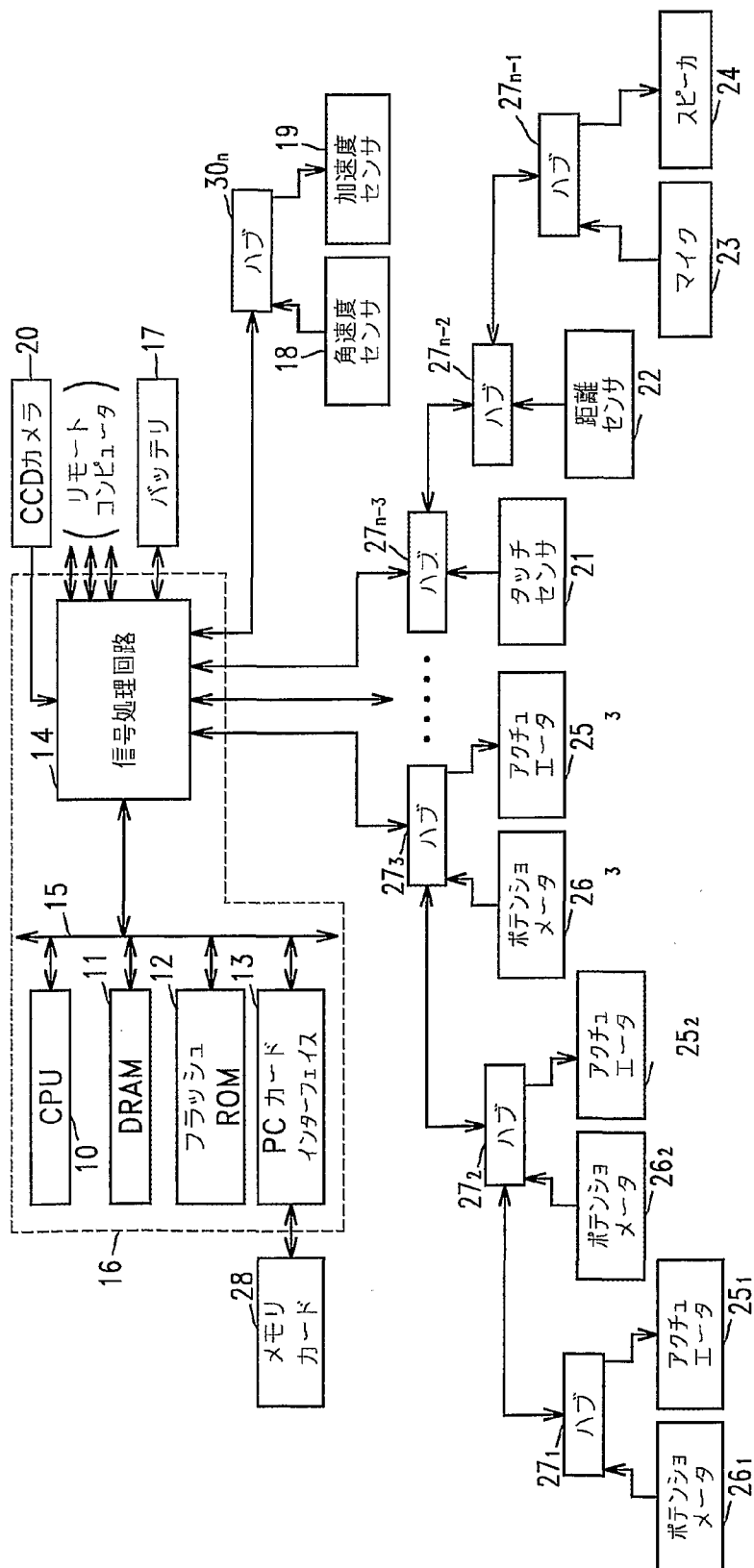


FIG. 4



1 ロボット装置

FIG.5

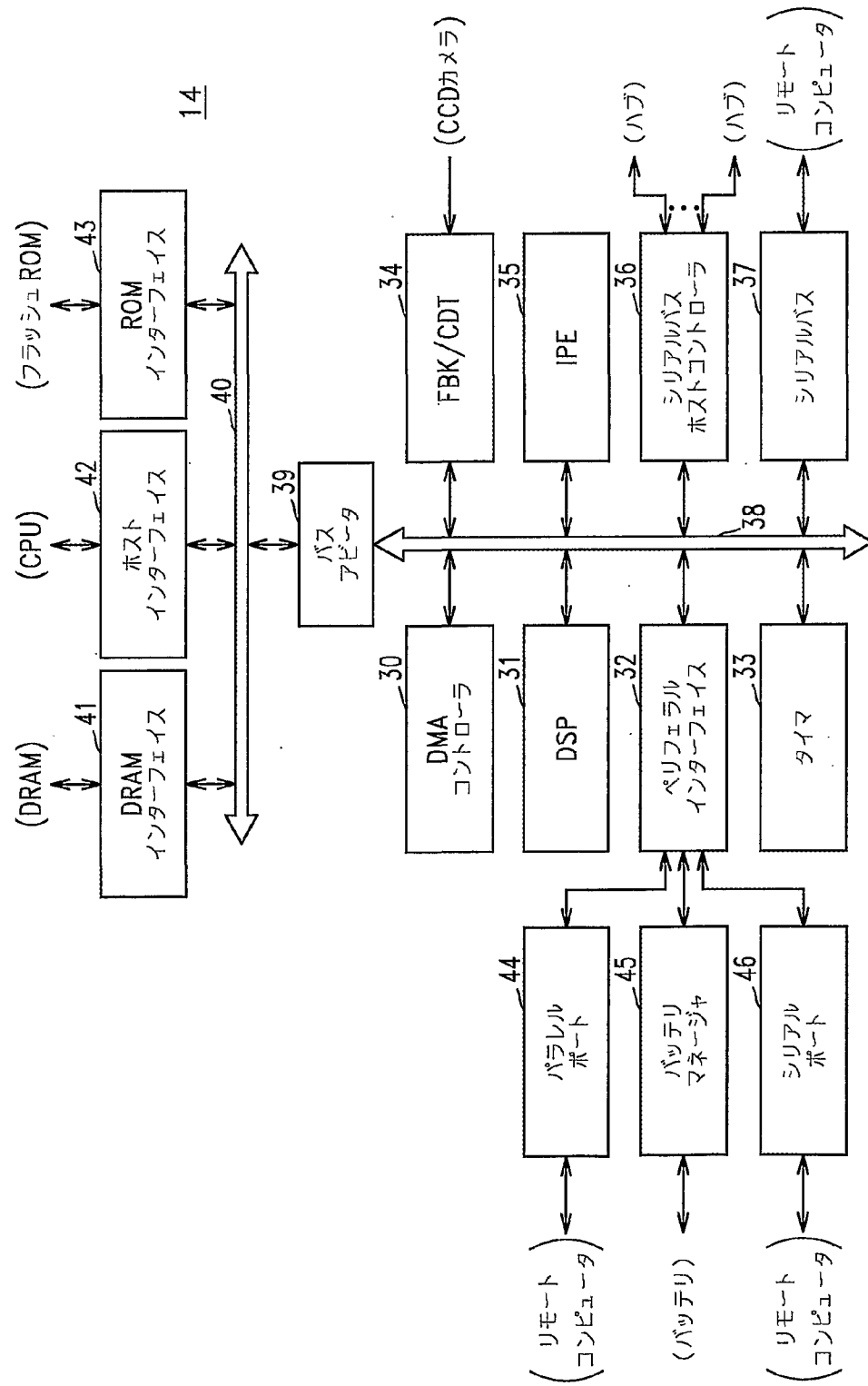


FIG.6

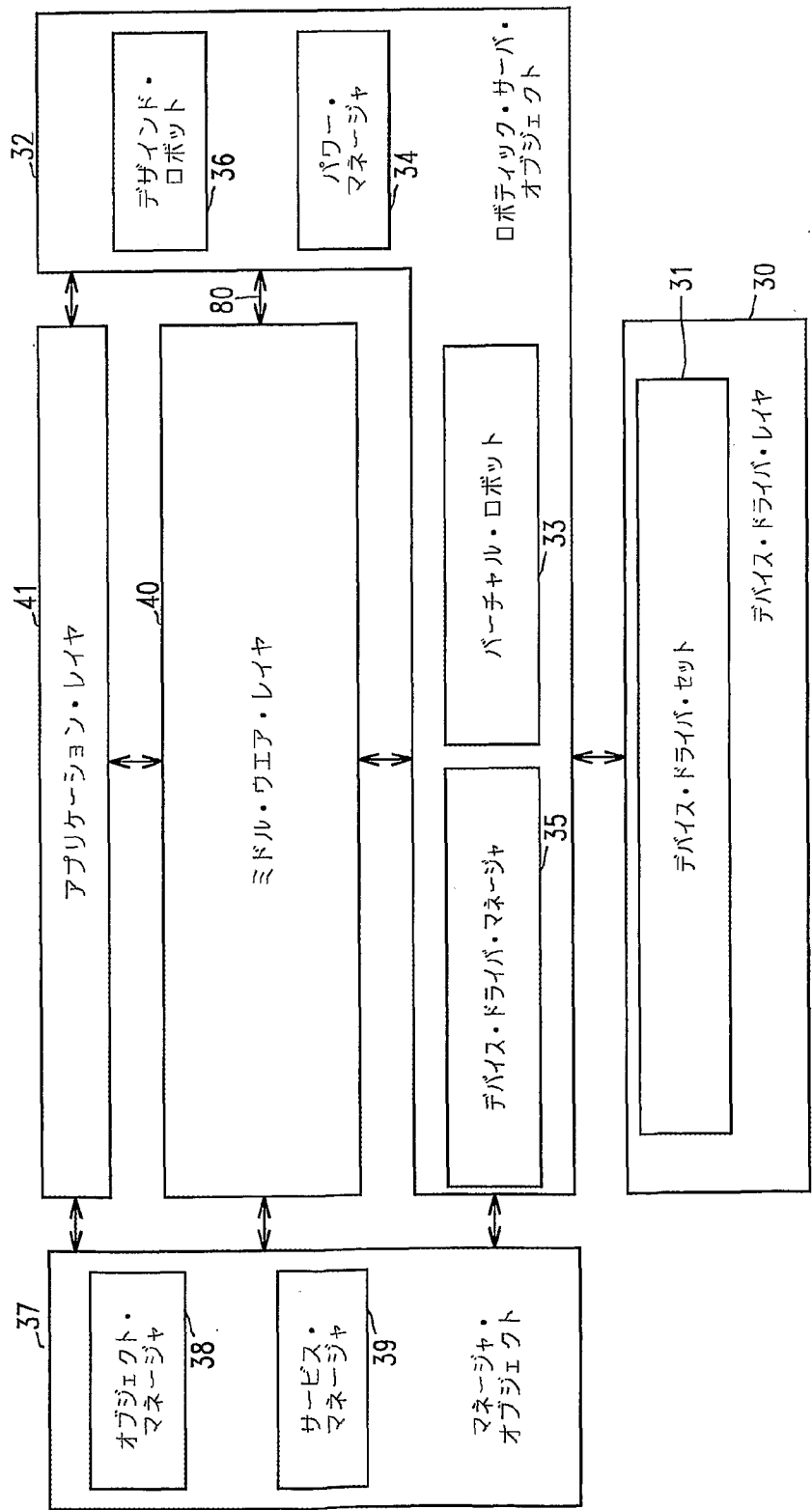


FIG.7

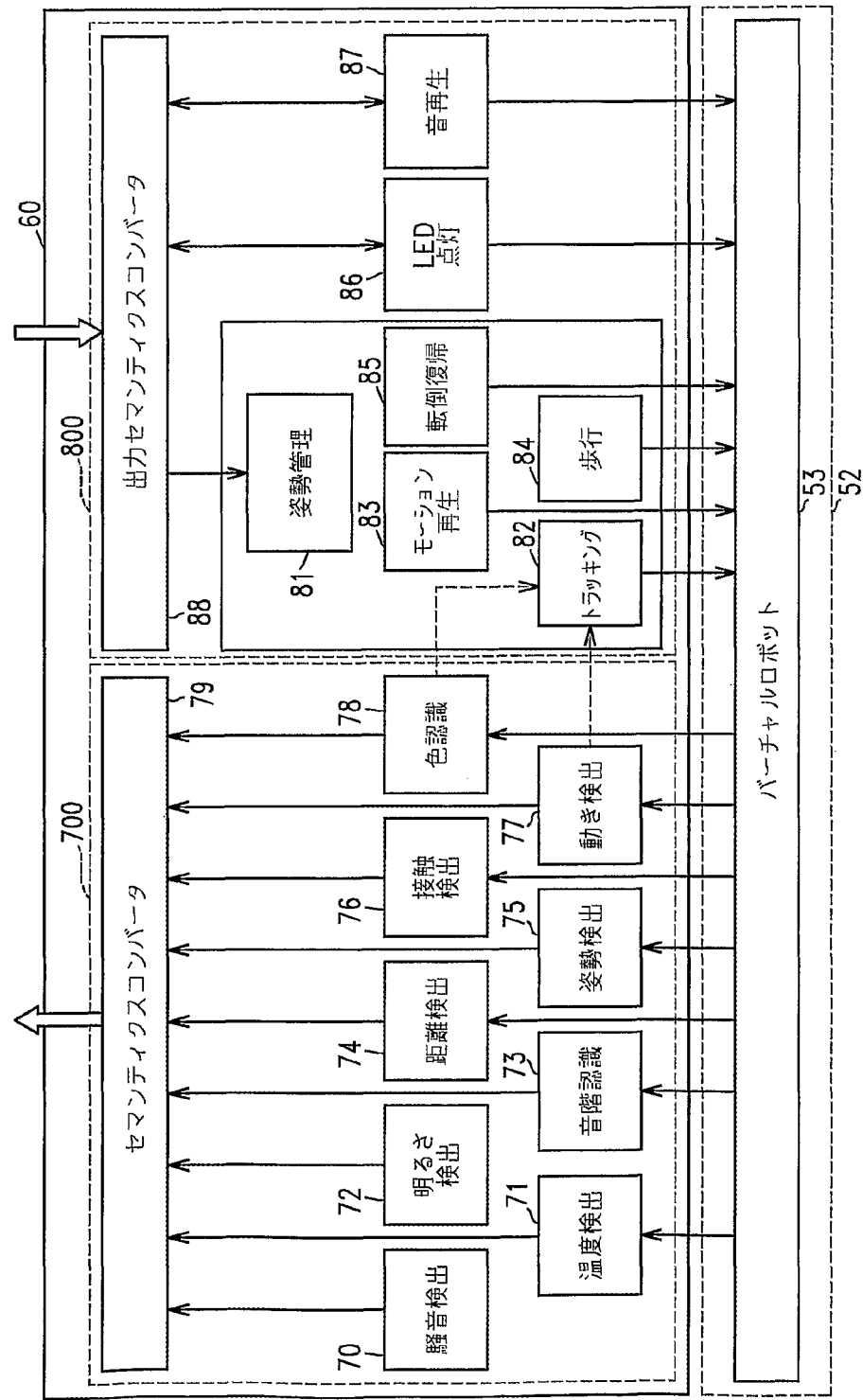


FIG.8

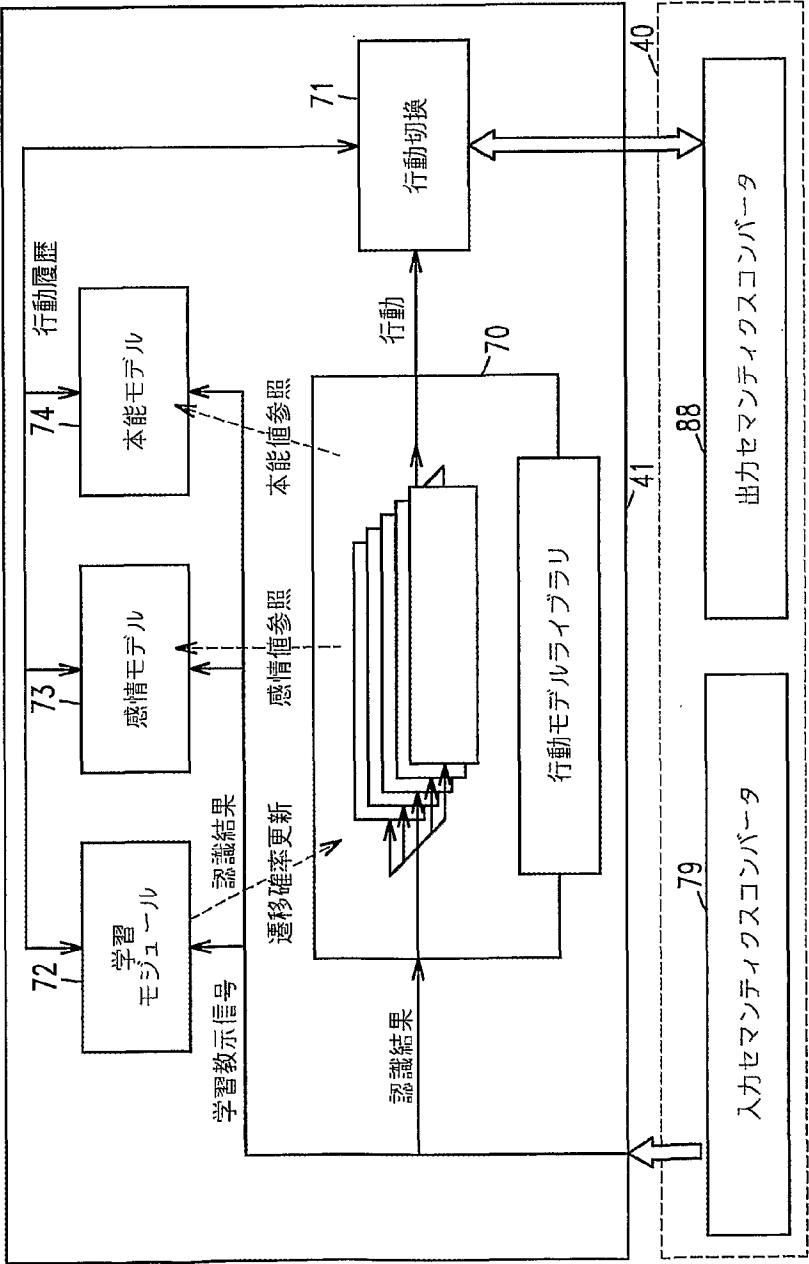


FIG.9

9/38

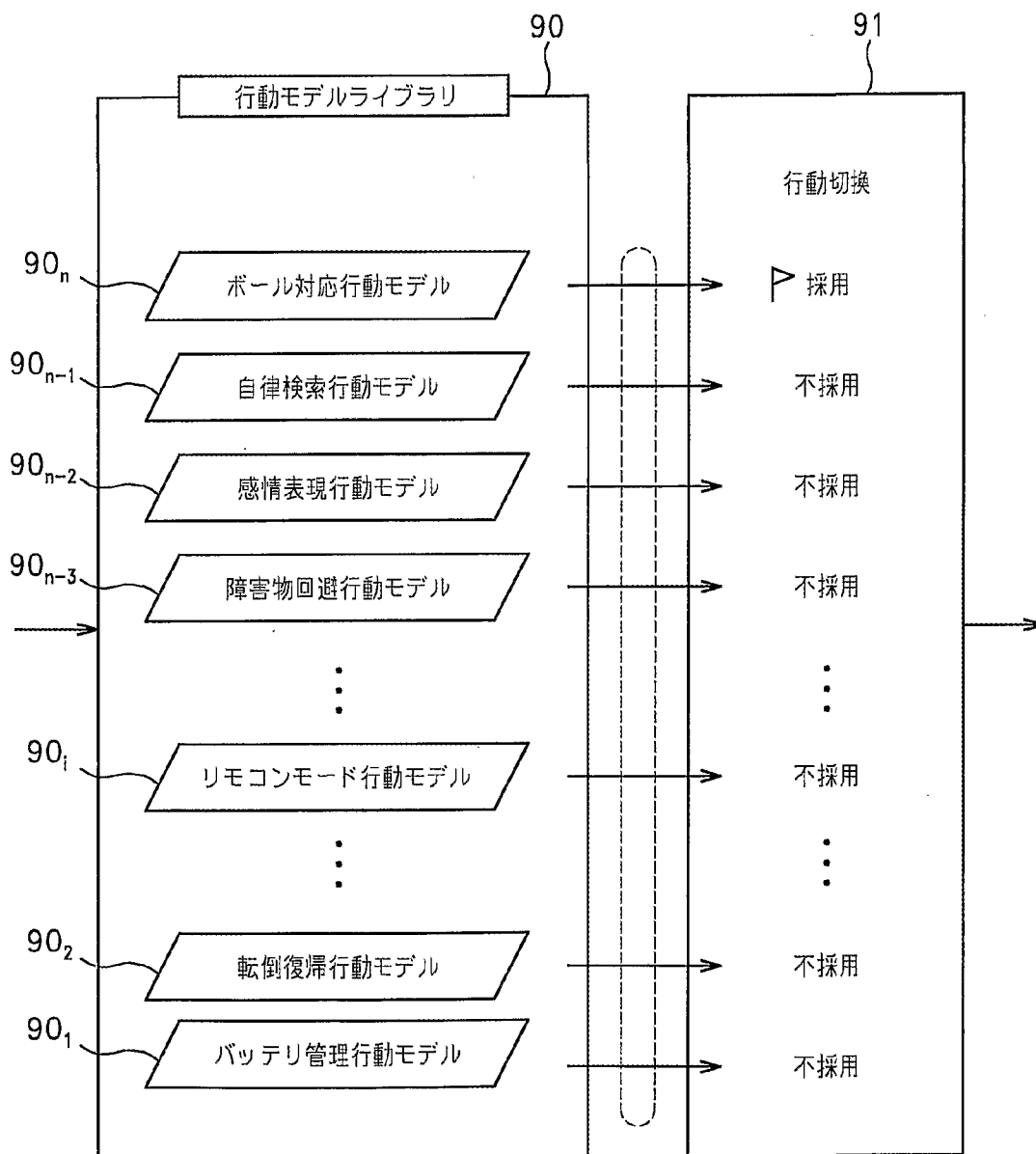
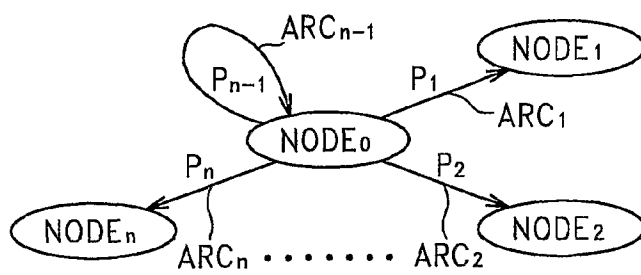


FIG. 10

10/38

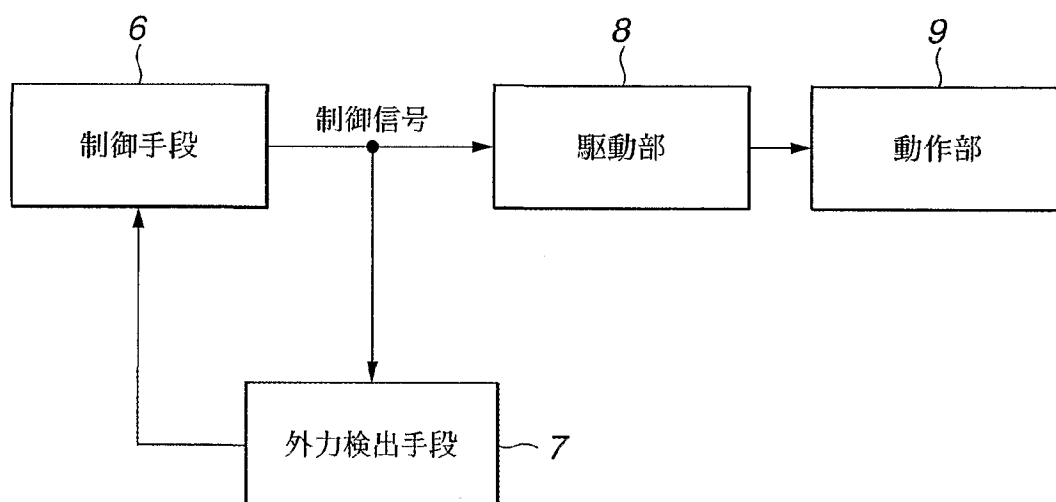
**FIG.11**

node 100 遷移先ノード 出力行動	入力イベント名	データ名	データの範囲	他のノードへの遷移確率				n
				A	B	C	D	
1	BALL	SIZE	0.1000	node 120 ACTION 1 30%	node 120 ACTION 2	node 1000 MOVE BACK		node 600 ACTION 4
2	PAT				40%			
3	HIT				20%			
4	MOTION					50%		
5	OBSTACLE	DISTANCE	0.100			100%		
6		JOY	50.100					
7		SURPRISE	50.100					
8		SADNESS	50.100					

100

FIG.12

12/38

**FIG.13**

13/38

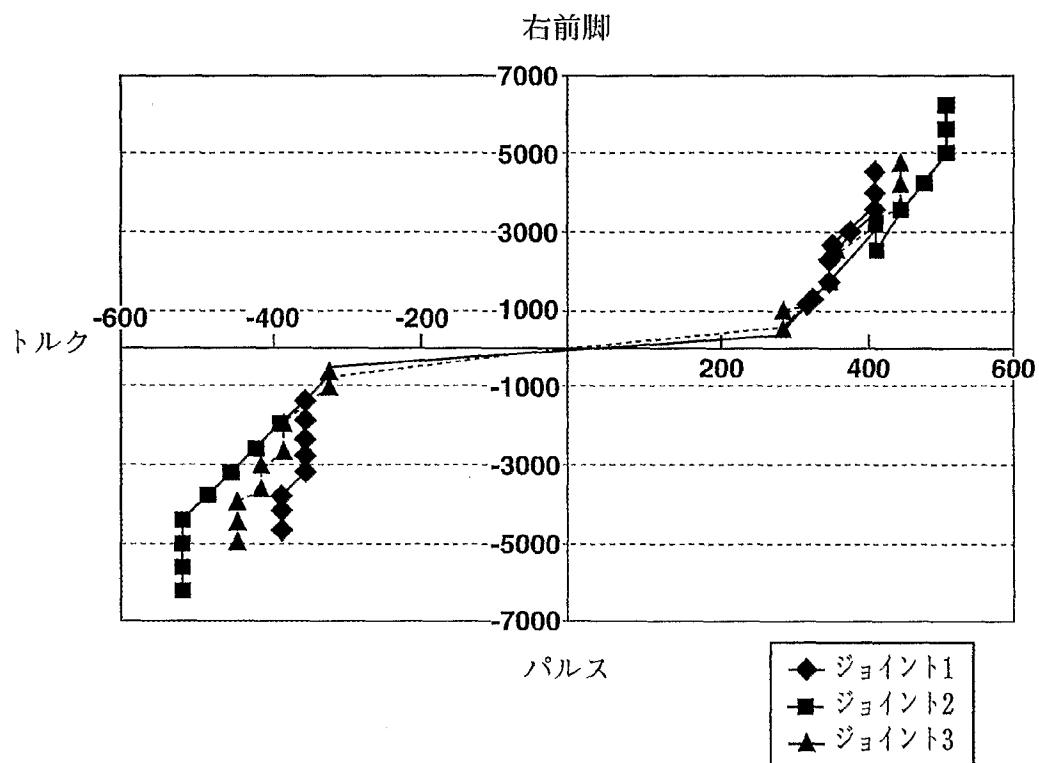


FIG.14

14/38

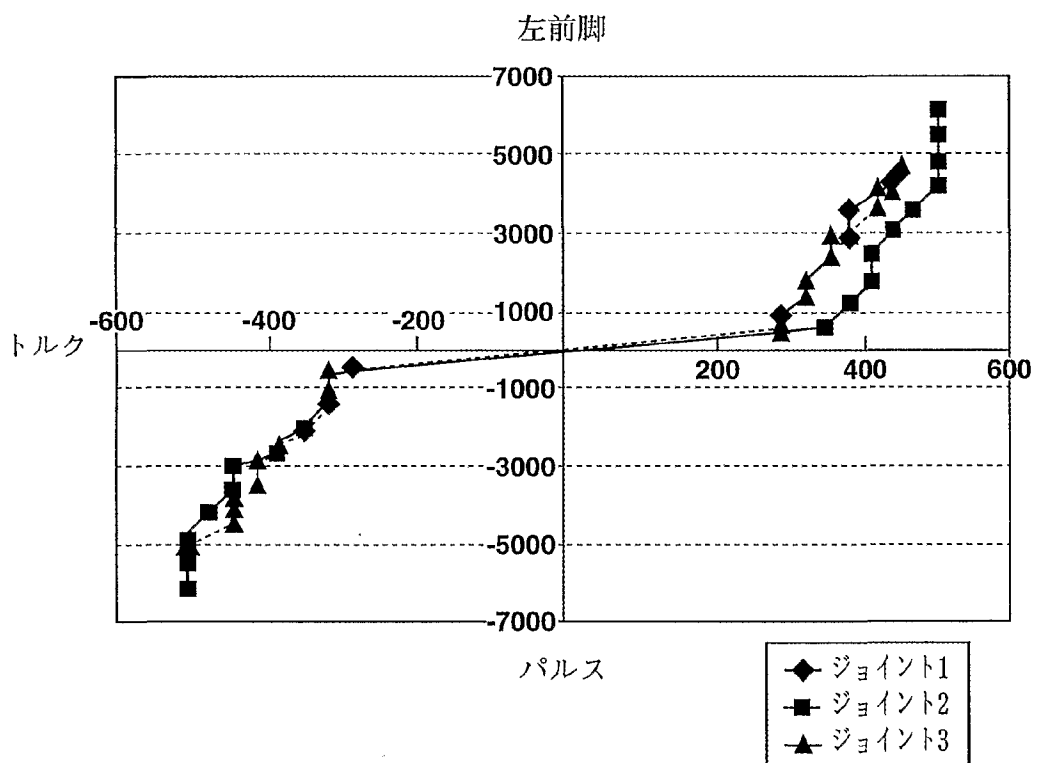


FIG.15

15/38

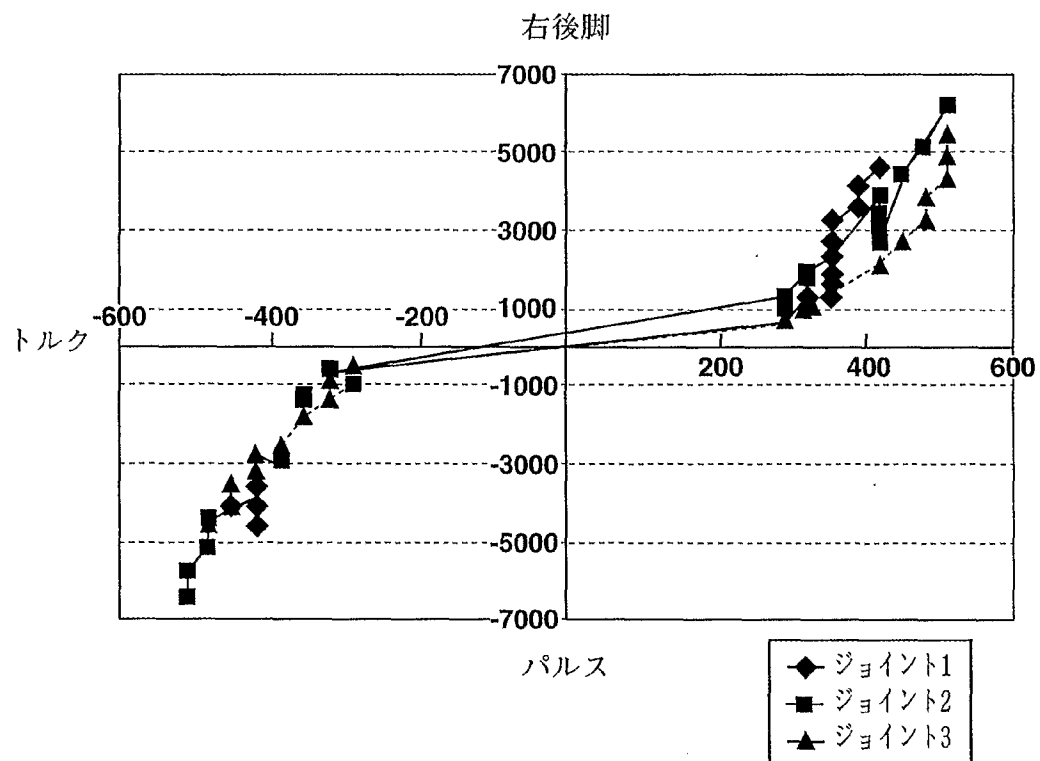


FIG.16

16/38

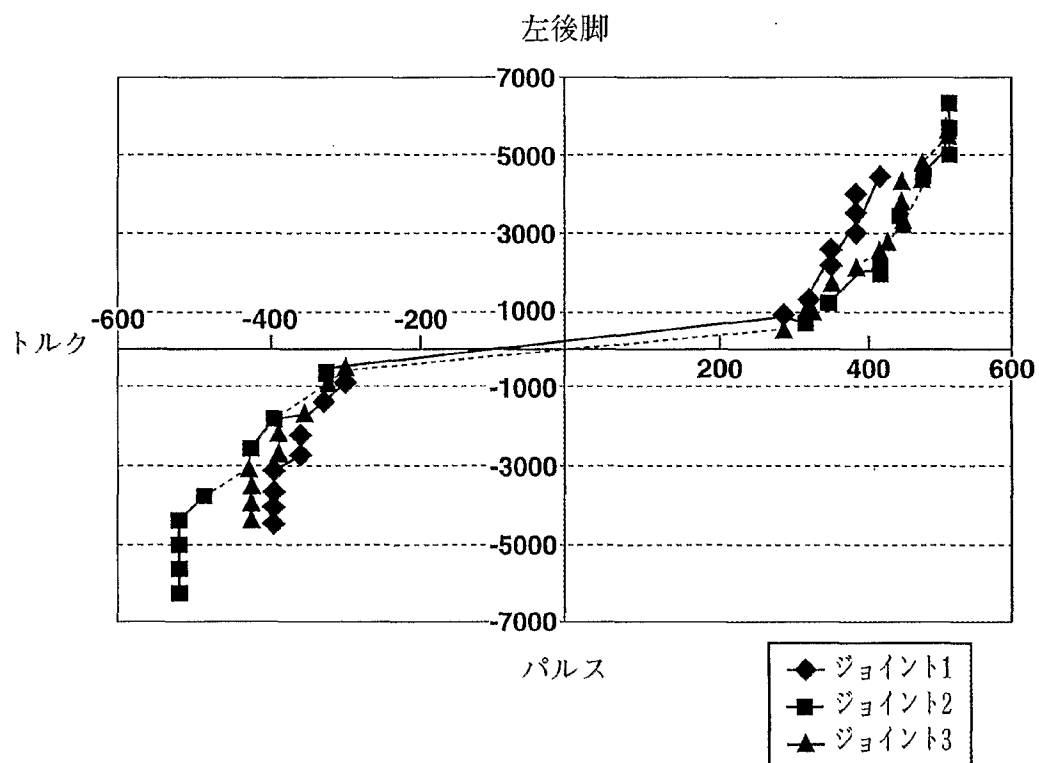


FIG.17

17/38

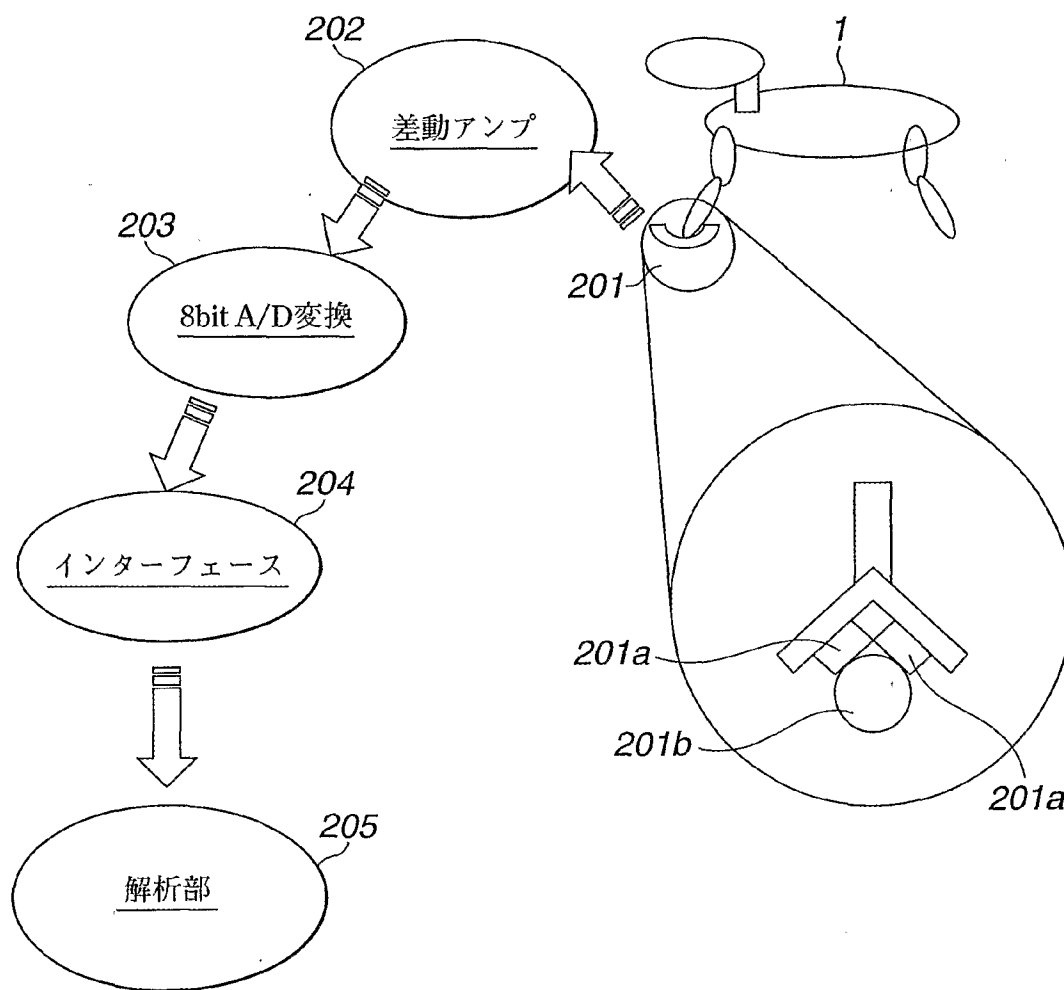


FIG.18

18/38

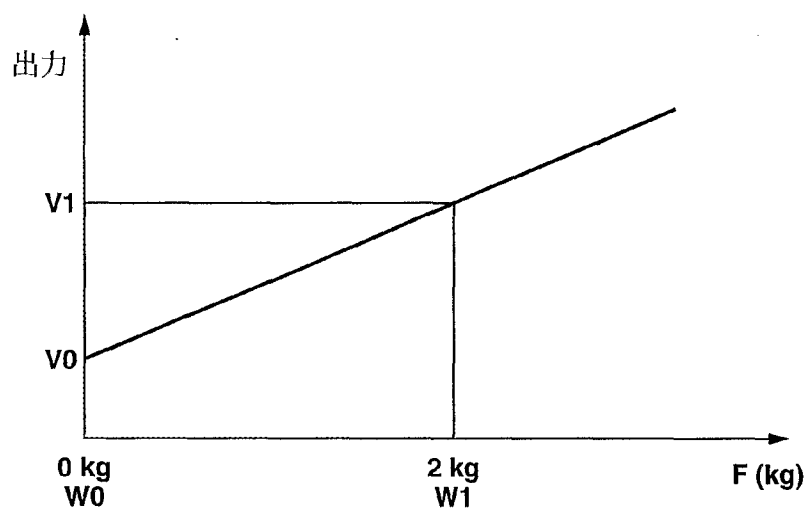


FIG.19

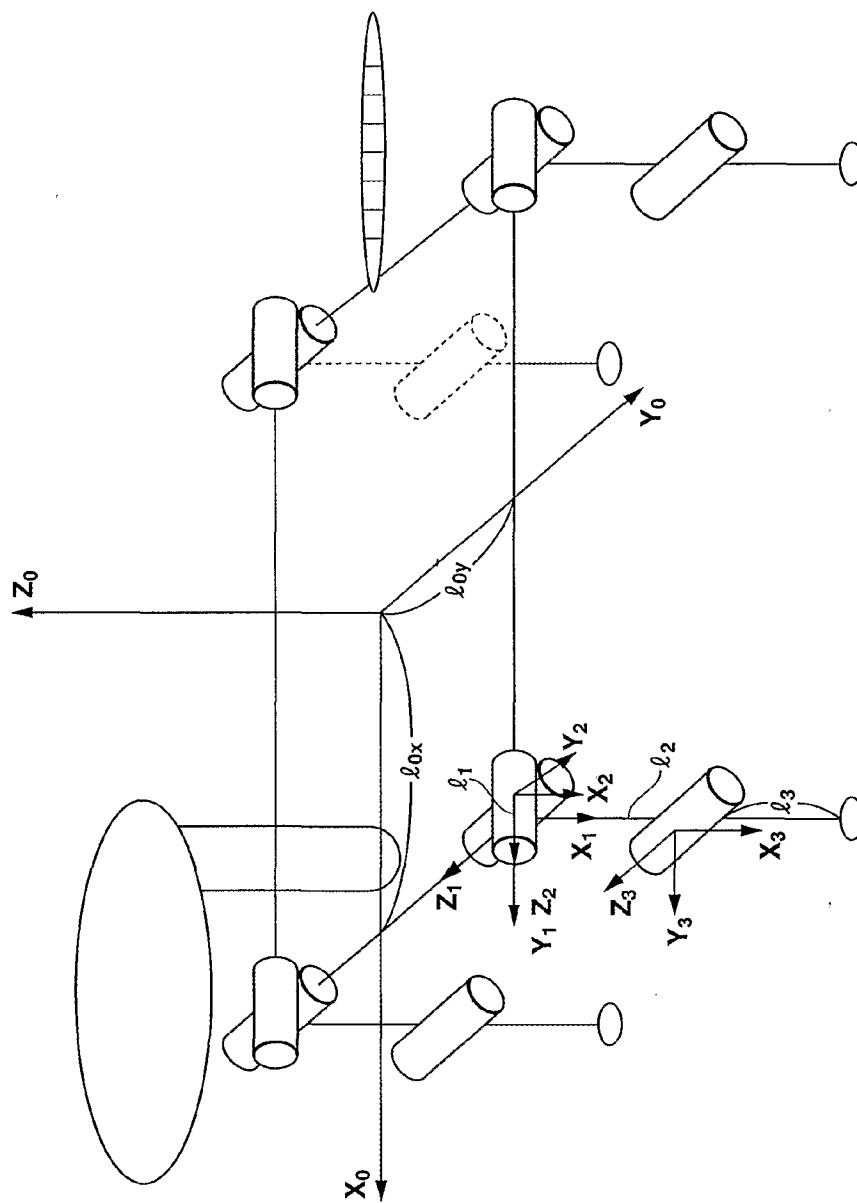


FIG.20

20/38

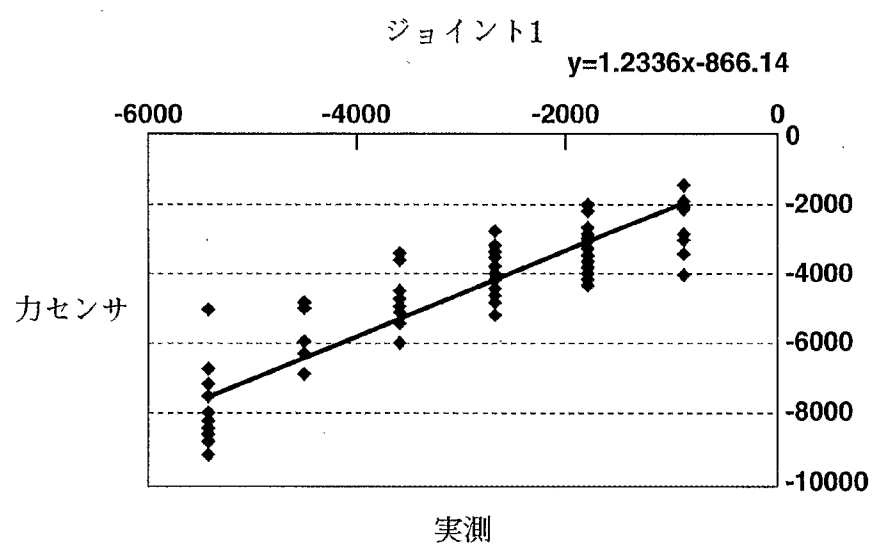


FIG.21

21/38

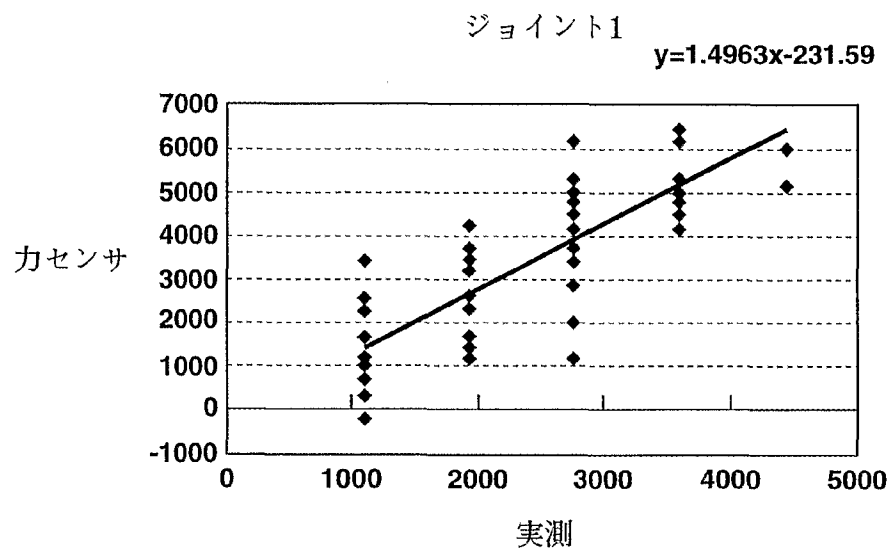


FIG.22

22/38

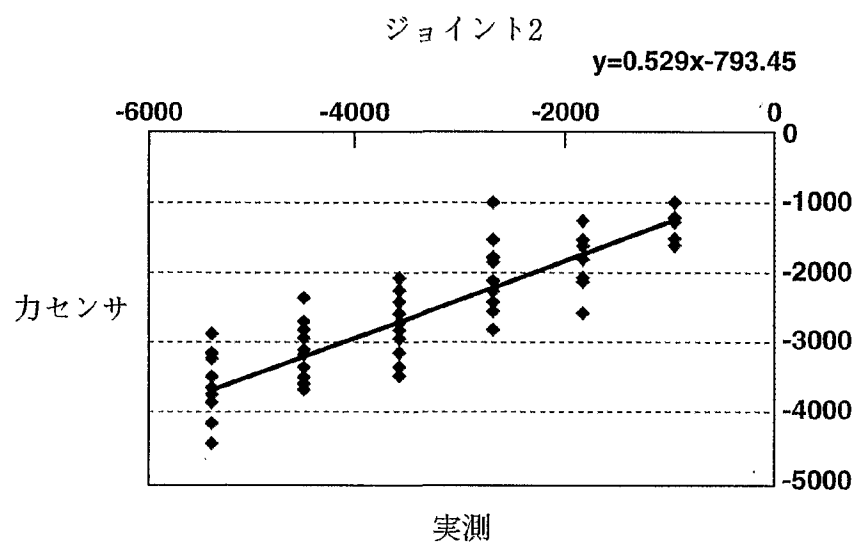


FIG.23

23/38

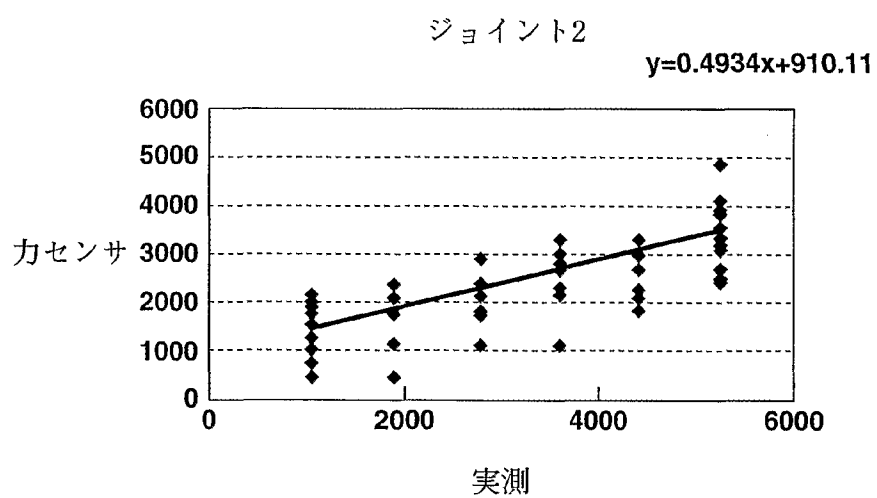


FIG.24

24/38

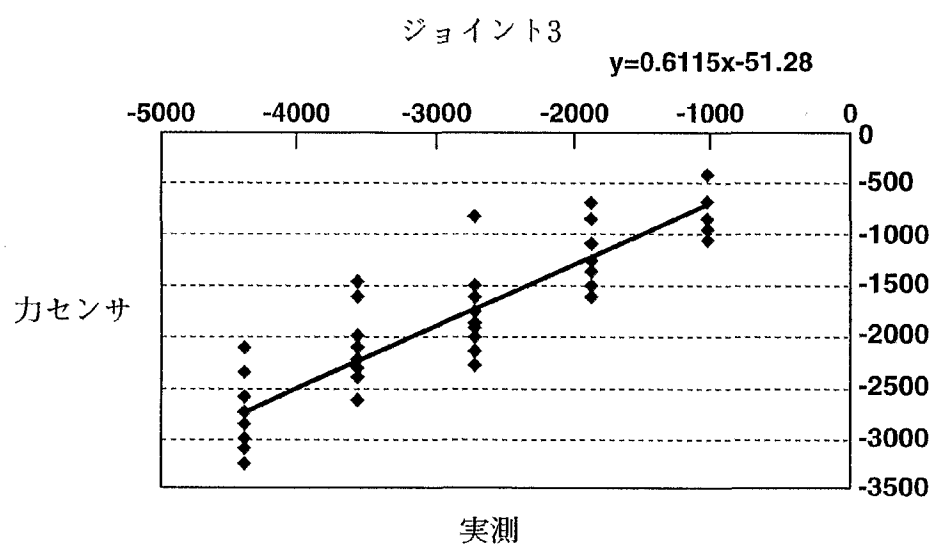


FIG.25

25/38

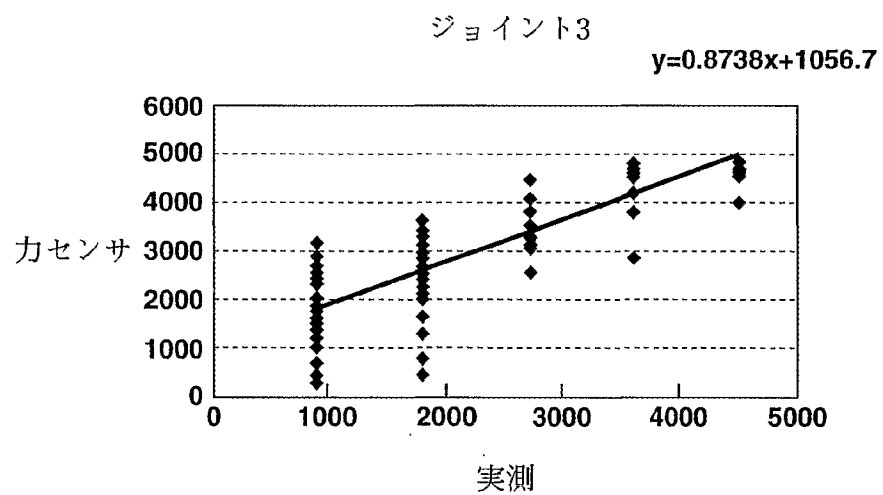


FIG.26

26/38

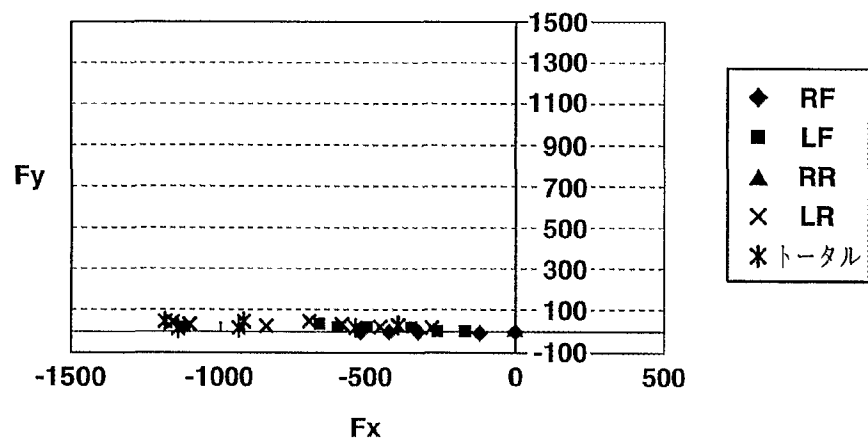


FIG.27

27/38

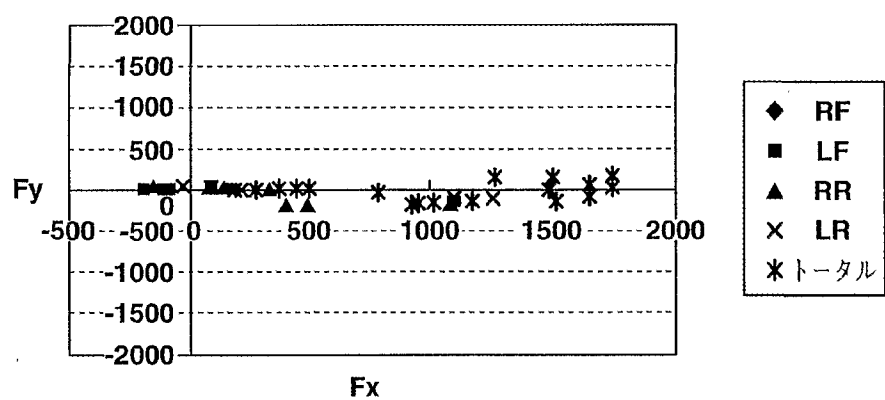


FIG.28

28/38

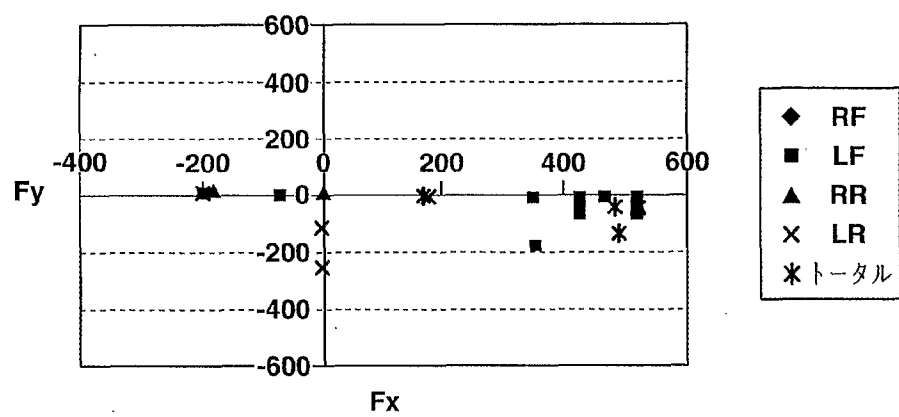


FIG.29

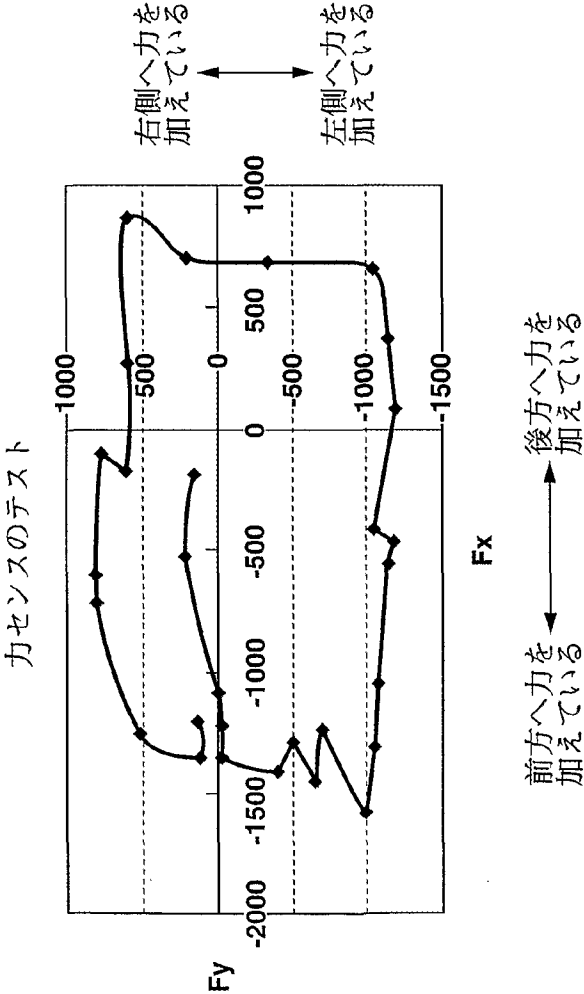


FIG.30

30/38

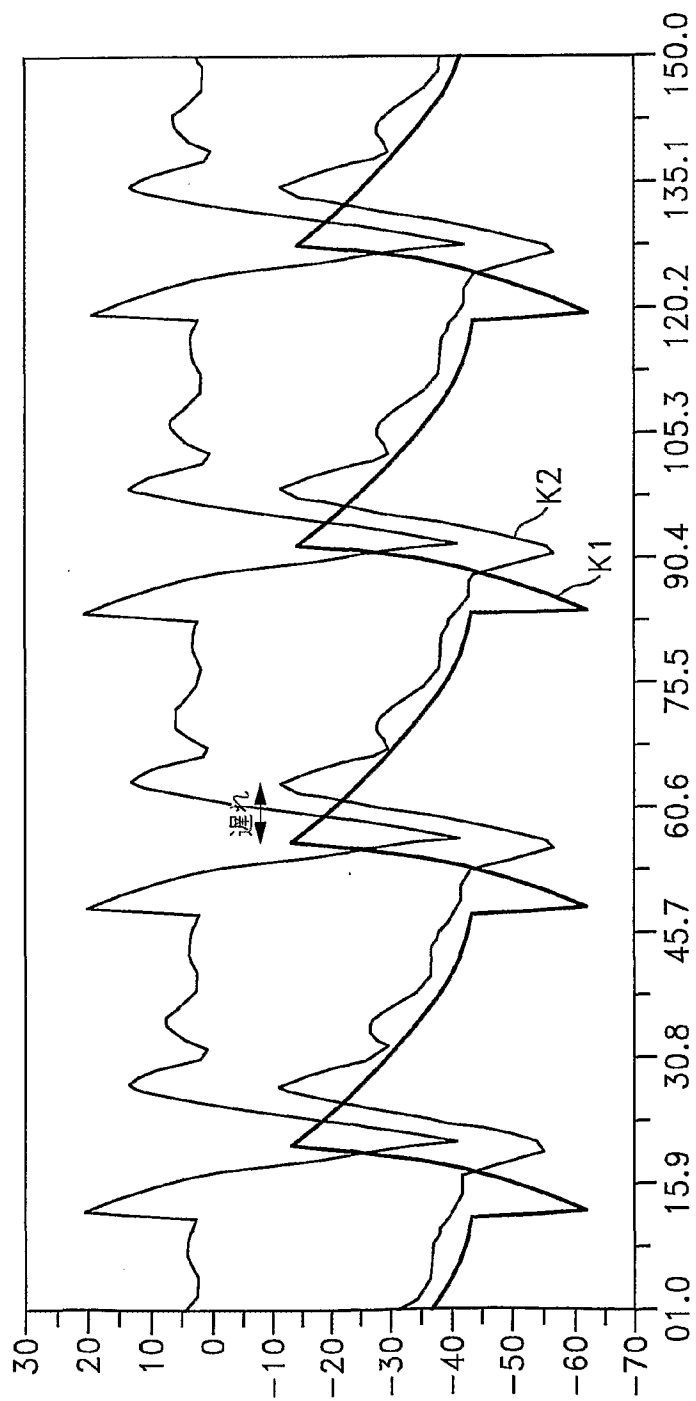


FIG.31

31/38

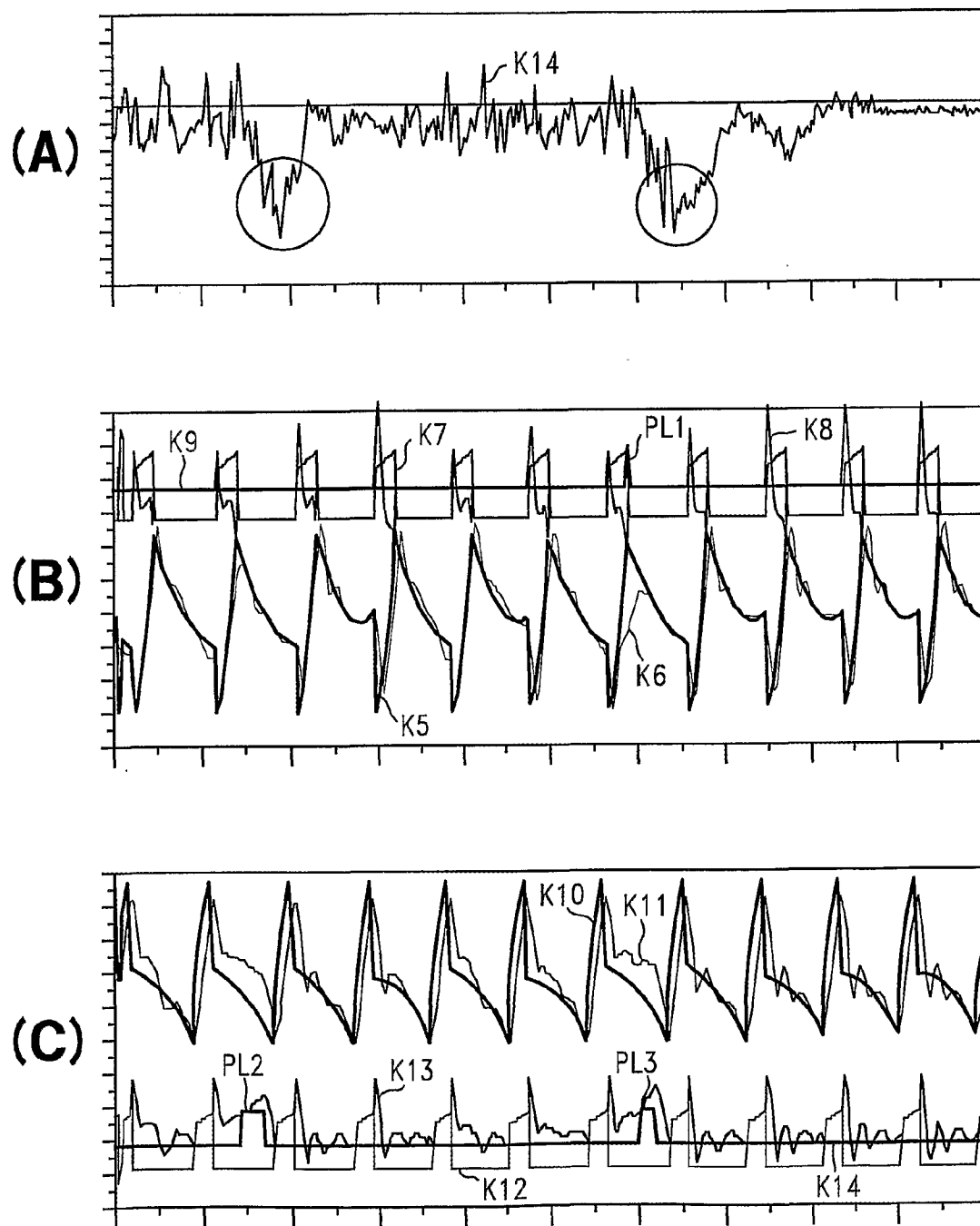


FIG.32

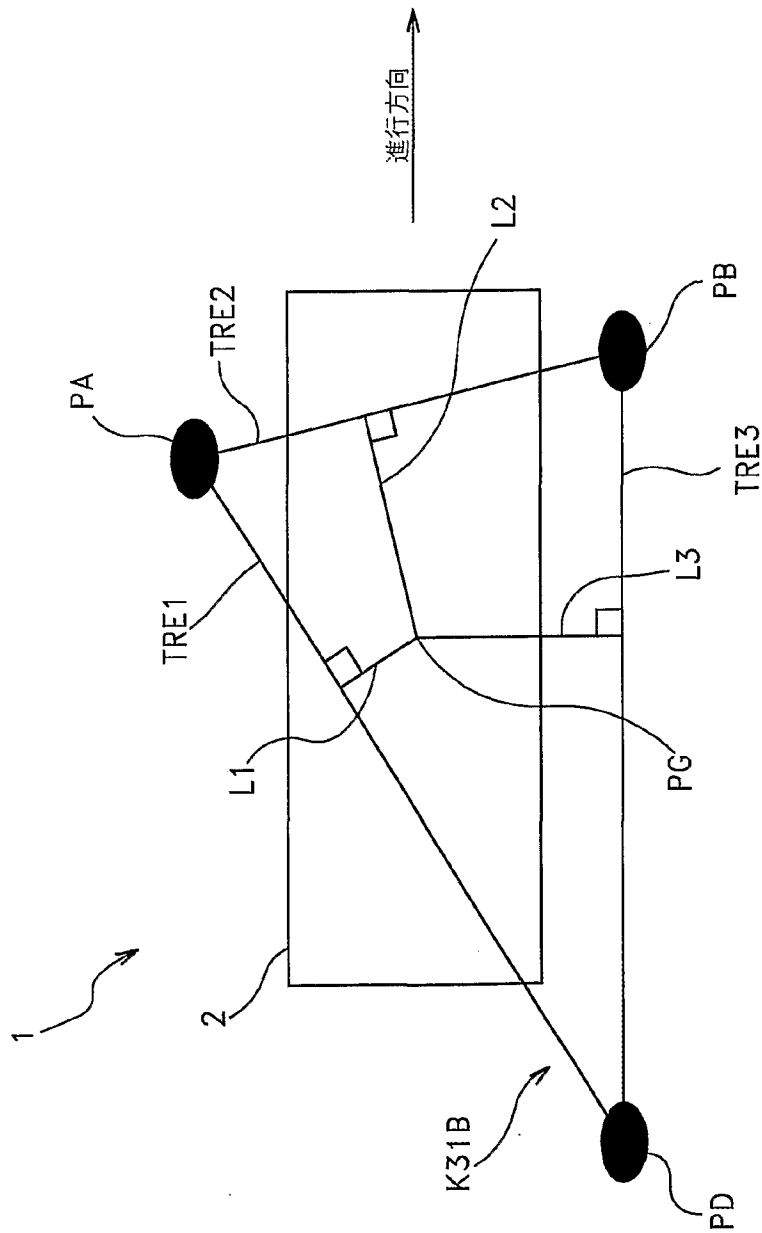


FIG.33

33/38

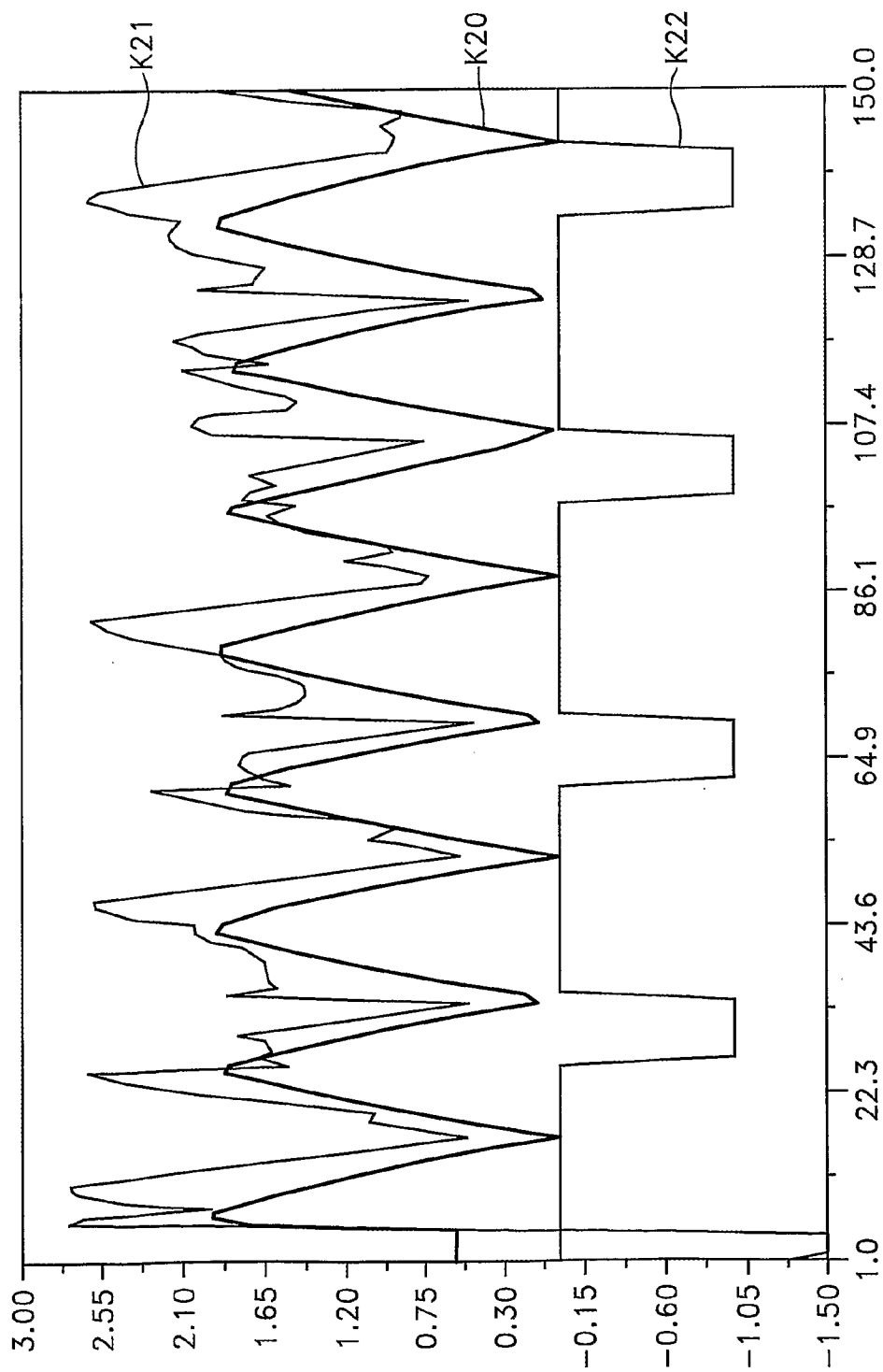


FIG.34

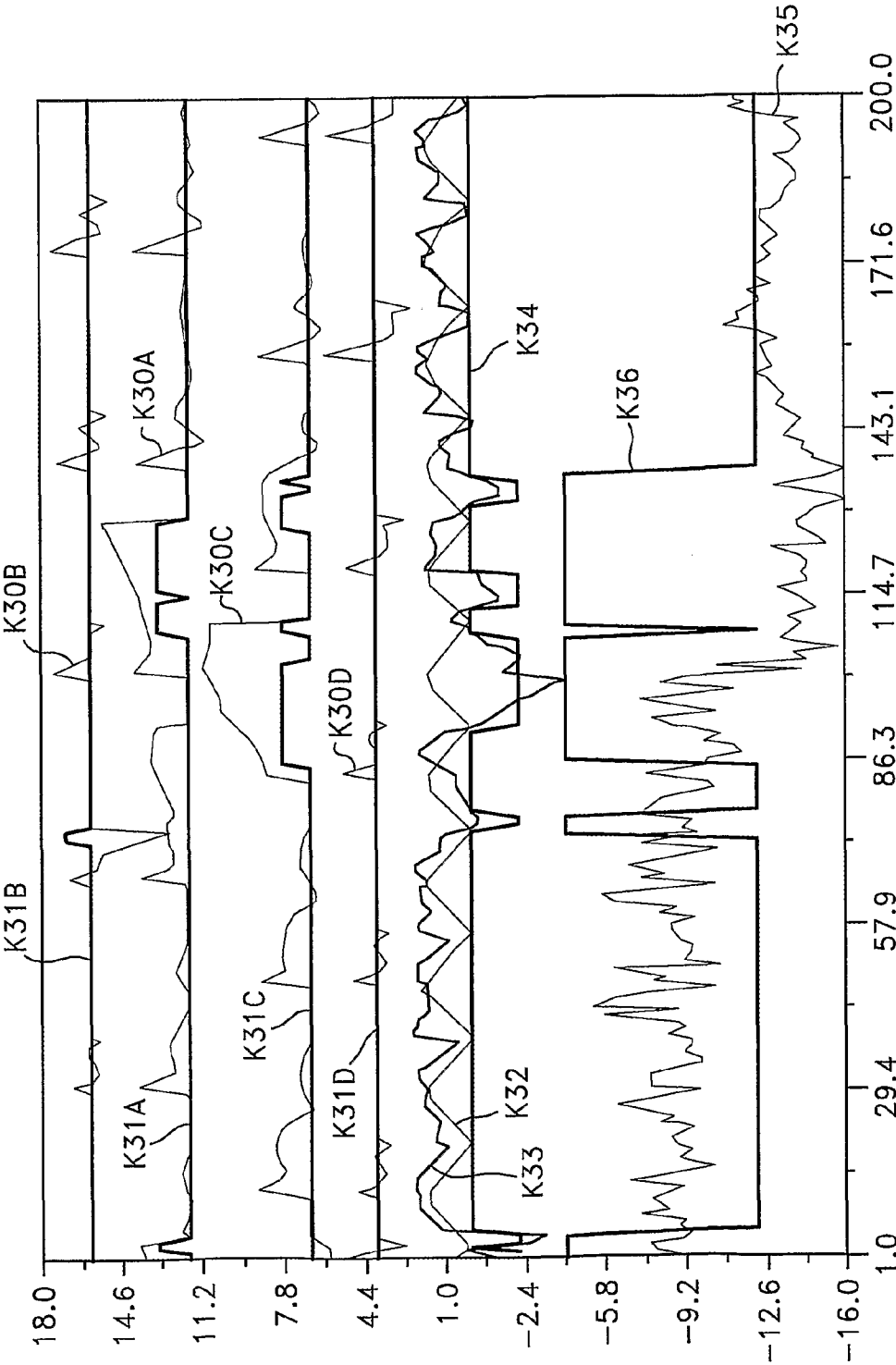
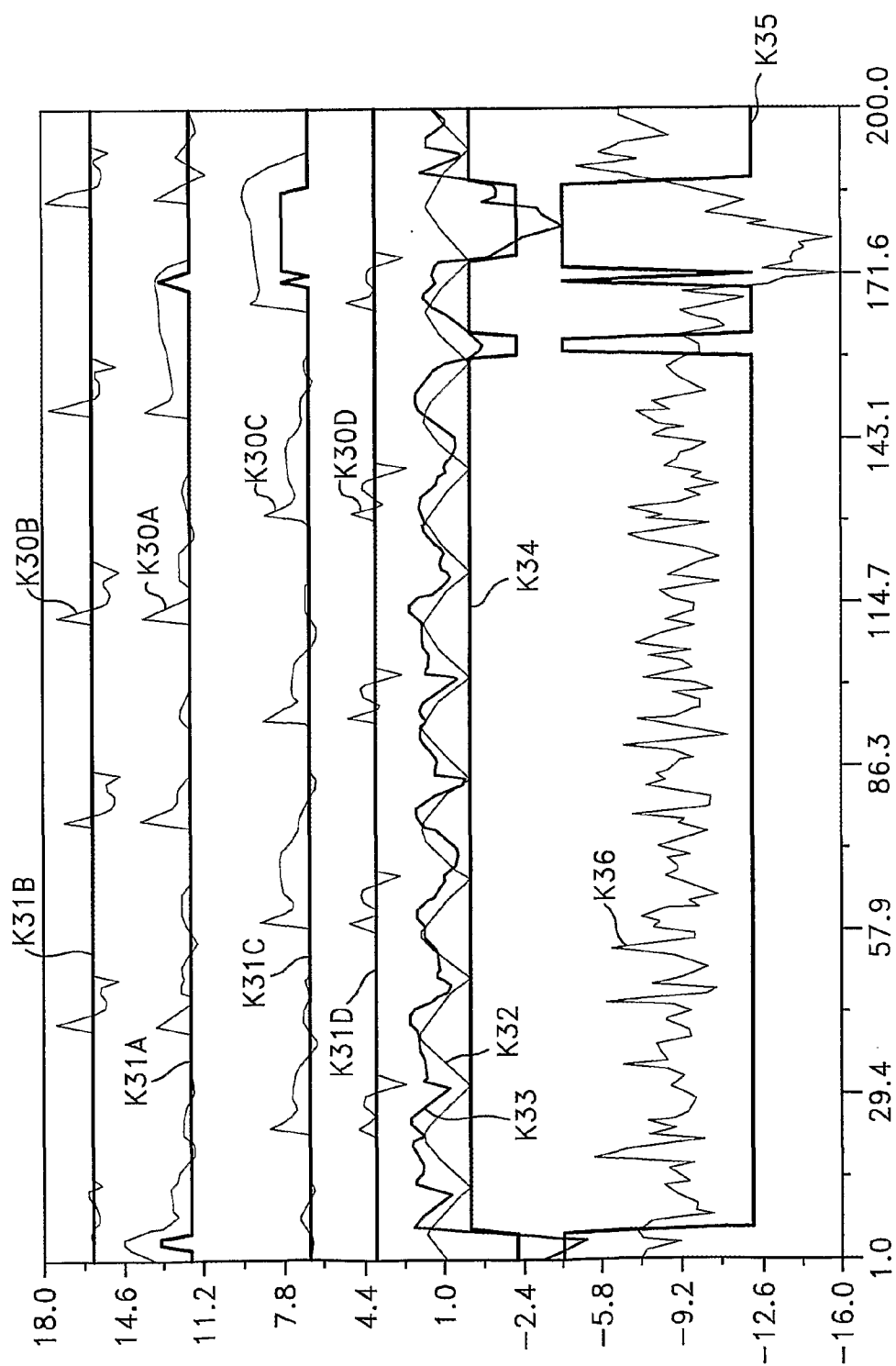


FIG.35

35/38

**FIG.36**

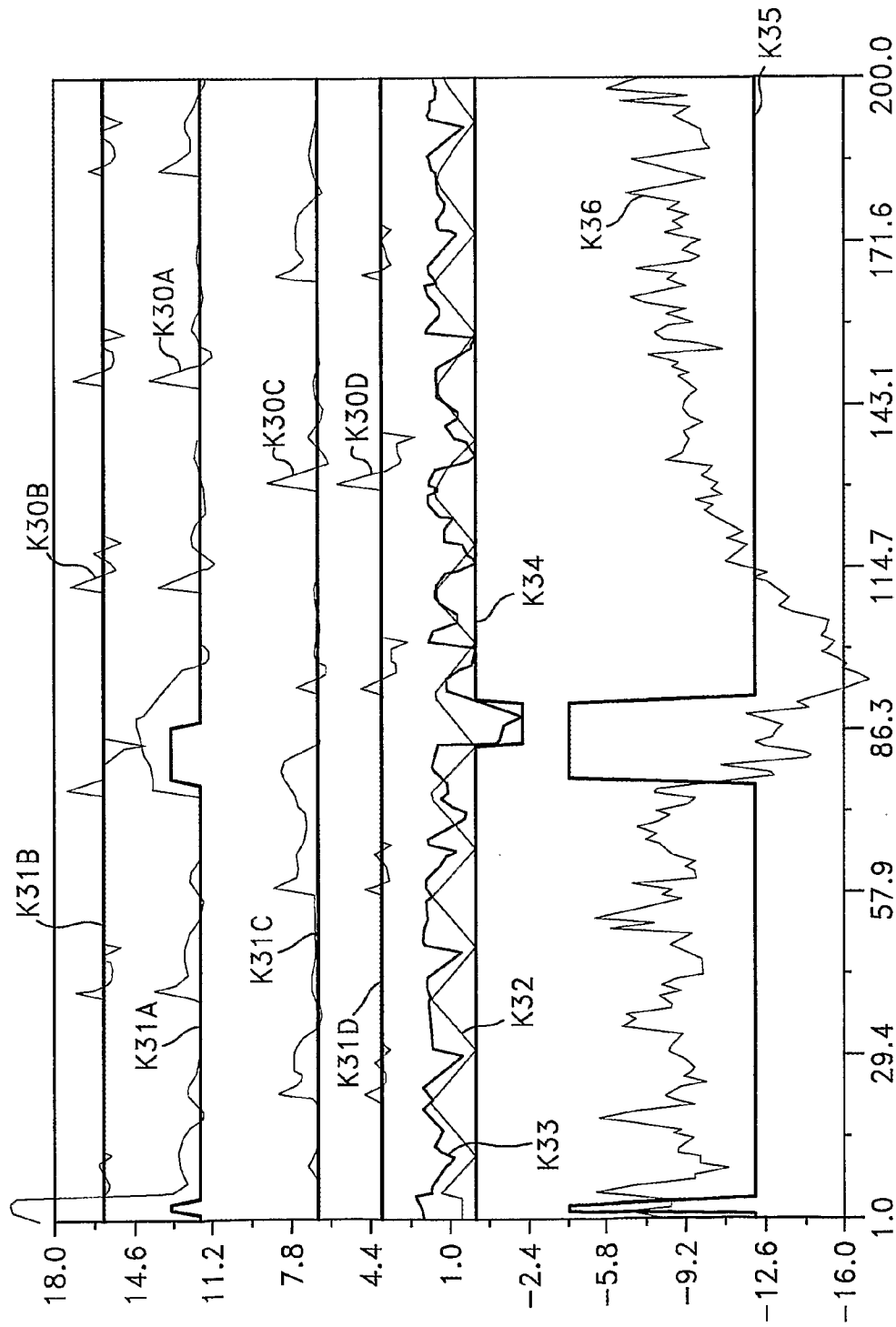
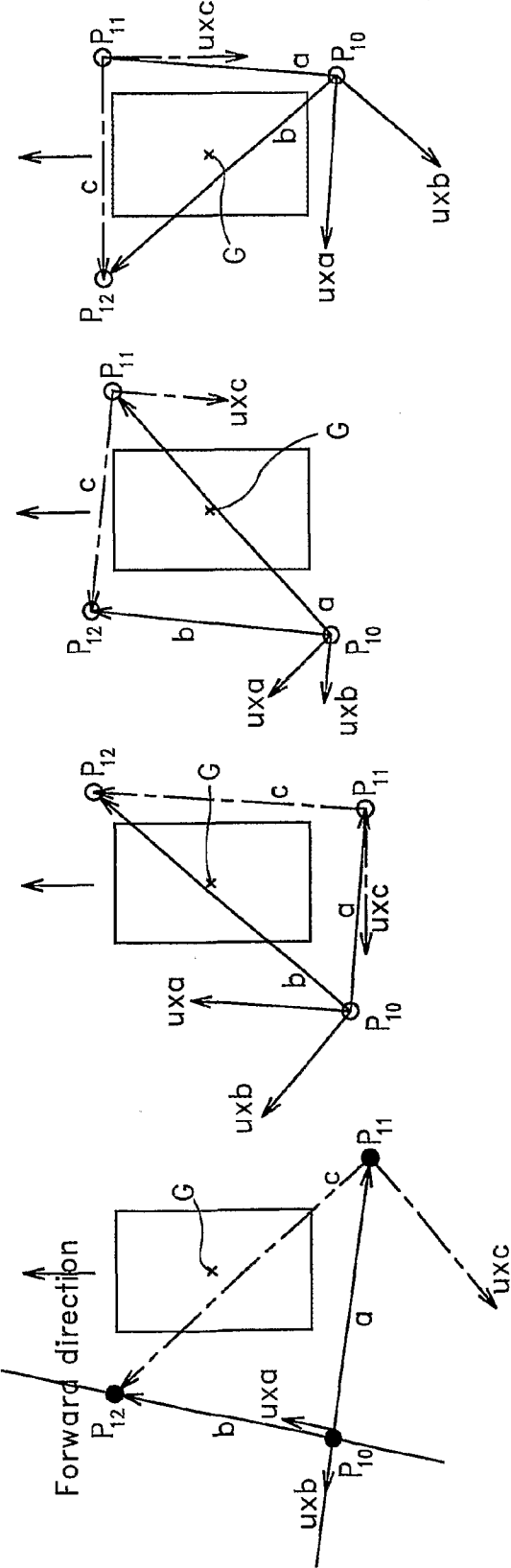


FIG.37

37/38



(D)

(C)

(B)

(A)

FIG.38

38/38

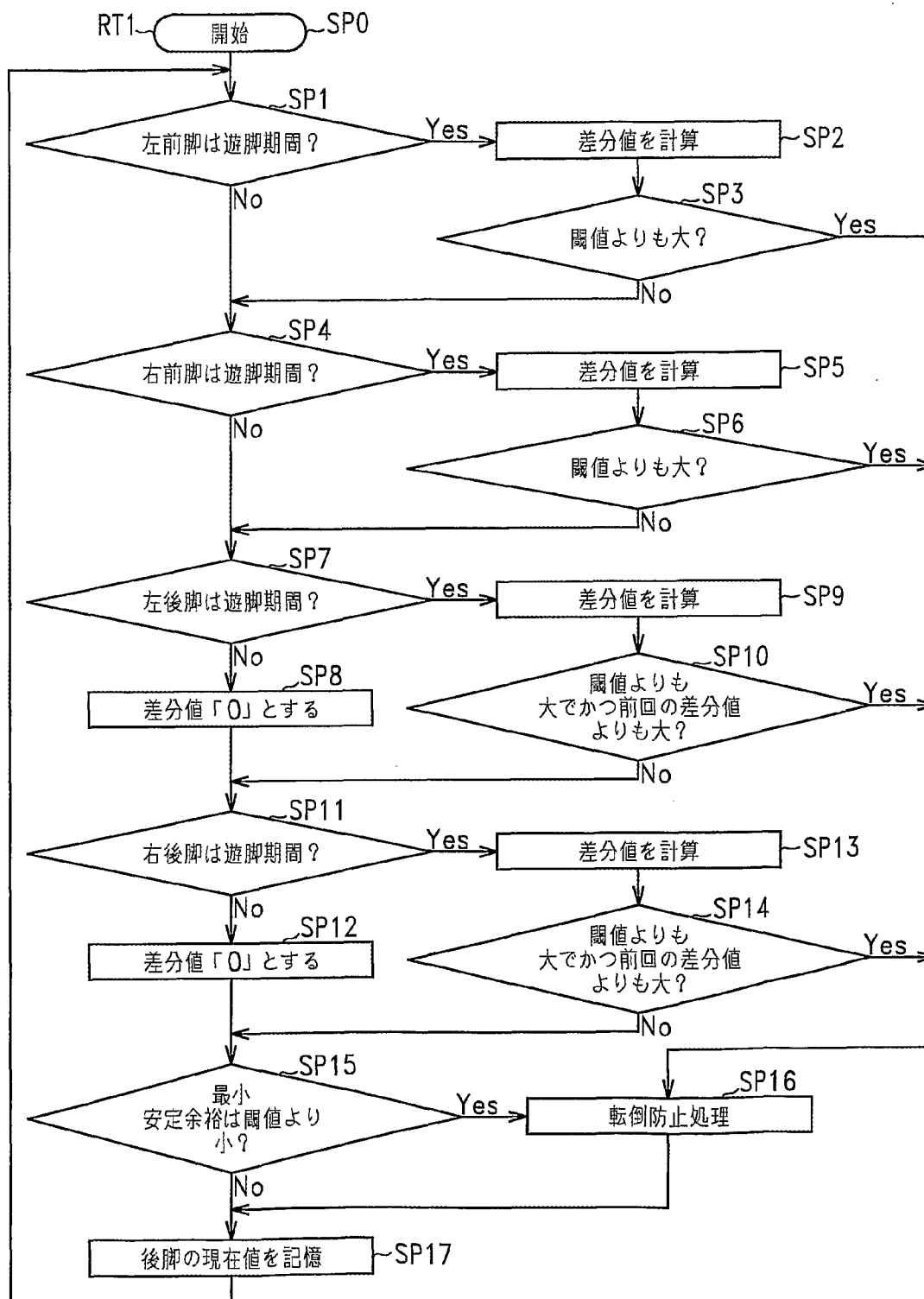


FIG.39